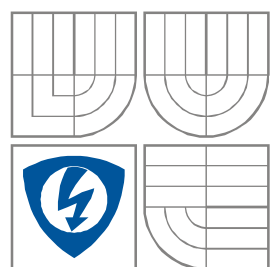


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS**

Detekce optického disku v oftalmologických obrazech

Optical disc detection in ophthalmologic images

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

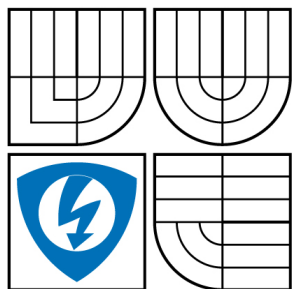
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ondřej Melša

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Radim Kolář, Ph.D.

BRNO, 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Elektronika a sdělovací technika

Student: Melša Ondřej

ID: 77937

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Detekce optického disku v oftalmologických obrazech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem laserových skenovacích oftalmoskopů pro vyšetřování sítnice lidského oka. Popište vlastnosti výsledných obrazů. Zaměřte se na detekci optického disku v autofluorescenčních a tzv. IR obrazech sítnice. Navrhněte a realizujte algoritmus, který bude detekovat střed disku. Použijte také různé metody pro předzpracování, např. úpravy kontrastu, eliminaci šumu a další. Tento algoritmus doplňte o detekci hranic optického disku. Navržené metody experimentálně ověřte a porovnejte jejich výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] JAN, J. Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálů. Brno: Nakladatelství VUTIM, 2002.

[2] Confocal Digital Fluorescein and Indocyanine Green Angiography with the Heidelberg Retina Angiograph. Heidelberg (Germany): Heidelberg Engineering GmbH.

[3] KOLÁŘ, R., JAN, J., CHRÁSTEK, R., LAEMMER, R., MARDIN, Ch. Y. Autofluorescence areas detection in HRA images. In Proceedings of Int. Conf. EMBEC 2005, p. 2384 - 2388.

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 6.6.2008

Vedoucí práce: Ing. Radim Kolář, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Ondřej Melša
Bytem: Lubná 338, Lubná, 569 63
Narozen/a (datum a místo): 1. července 1986 v Poličce

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Detekce optického disku v oftalmologických obrazech

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Radim Kolář, Ph. D.

Ústav: Ústav biomedicínského inženýrství

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

Tato práce je zaměřena na detekci středů a hranic optických disků v AF (autofluorescenčních) a IR (infračervených) obrazech. Obrazy jsou nejdříve upraveny v jasové oblasti. Středů optických disků jsou vyhledávány algoritmy, které nabízí program Matlab. Stejně tak i pro určení hranic optického disku slouží algoritmy z Matlabu. Výsledné hodnoty jsou porovnávány s hodnotami zadanými a je určena účinnost vytvořeného algoritmu.

Abstract

This work is target on the detection of center and border of optical disk in AF (autofluorescent) and IR (infrared) images. The image are primarily modified at brightness area. The center of optical disk are sought after by algorithms, which offers program Matlab. As well are search border of optical disk. Results are comparison with engaged results and then is calculated effectivity of created algorithm.

- MELŠA, O. *Detekce optického disku v oftalmologických obrazech: bakalářská práce*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008. 48 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Detekce optického disku v oftalmologických obrazech jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Kolářovi, PhD. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Obsah

Obsah	1 -
Seznam obrázků	2 -
Úvod	3 -
1. Obrazy a jejich vlastnosti	4 -
1.1. Digitální obraz	4 -
1.1.1. Šedotónový model	4 -
1.1.2. Binární model	4 -
1.2. Formát obrazu	4 -
1.2.1. BMP (Bitmap)	4 -
2. Základní anatomie oka	6 -
2.1. Schematický popis optického disku	7 -
3. Princip laserových skenovacích oftalmoskopů	9 -
3.1. Skenovací systém HRA2 (Heidelberg Retina Angiograph)	9 -
4. Předzpracování obrazů	11 -
4.1. Vlastnosti zadaných obrazů	11 -
4.2. Transformace hodnot jasu	12 -
4.2.1. Jasové korekce	12 -
4.2.2. Transformace jasové stupnice	13 -
4.3. Postup předzpracování	14 -
4.3.1. Úprava velikosti obrazu	14 -
4.3.2. Použití filtru pro rozmazání	15 -
4.3.3. Úprava intenzity	15 -
5. Detekce optického disku – postup	22 -
5.1. Určení jasového rozhraní	22 -
5.1.1. Manuální určení	22 -
5.1.2. Určení pomocí funkce graythresh a im2bw	23 -
5.2. Eroze	23 -
5.2.1. Postupná aplikace eroze	24 -
5.3. Aplikace hranových detektorů	26 -
5.3.1. Sobelův hranový detektor	26 -
5.3.2. Prewittův hranový detektor	27 -
5.3.3. Robertsův hranový detektor	27 -
5.3.4. Sloučení detektorů	28 -
5.4. Houghova transformace	29 -
5.5. Dosažené výsledky	31 -
5.5.1. Účinnost algoritmu	36 -
5.5.2. Nedostatky, jejich příčiny a možná řešení	37 -
Závěr	39 -
Literatura	40 -

Seznam obrázků

Obr. 1:	Základní anatomie oka [3]	- 6 -
Obr. 2:	Princip ohýbání světla na sítnici [3].....	- 7 -
Obr. 3:	Schematický popis optického disku [1]	- 8 -
Obr. 4:	Princip konfokálního skenovacího systému [1]	- 9 -
Obr. 5:	Porovnání AF a IR obrazu téhož optického disku	- 11 -
Obr. 6:	Ukázka rozdílů u AF obrazů	- 12 -
Obr. 7:	Ukázka rozdílů u IR obrazů	- 12 -
Obr. 8:	Transformace jasu	- 13 -
Obr. 9:	Postup předzpracování	- 14 -
Obr. 10:	Aplikace funkce corrillum na AF obraz.....	- 15 -
Obr. 11:	Aplikace funkce corrillum na IR obraz.....	- 16 -
Obr. 12:	Aplikace funkce histeq na AF obraz.....	- 17 -
Obr. 13:	Aplikace funkce histeq na IR obraz.....	- 18 -
Obr. 14:	Aplikace funkce imadjust na AF obraz.....	- 19 -
Obr. 15:	Aplikace funkce imadjust na IR obraz.....	- 20 -
Obr. 16:	Postup detekce optického disku	- 22 -
Obr. 17:	Parametry funkce strel pro model line	- 24 -
Obr. 18:	Původní obrázek před erozí.....	- 24 -
Obr. 19:	Po první provedené erozi.....	- 24 -
Obr. 20:	Po druhé provedené erozi	- 25 -
Obr. 21:	Po třetí provedené erozi	- 25 -
Obr. 22:	Po čtvrté provedené erozi.....	- 25 -
Obr. 23:	Zvětšení optického disku do původní velikosti	- 26 -
Obr. 24:	Aplikace Sobelova detektoru	- 26 -
Obr. 25:	Aplikace Prewittova detektoru.....	- 27 -
Obr. 26:	Aplikace Robertsova detektoru	- 28 -
Obr. 27:	Sloučení hranových detektorů	- 28 -
Obr. 28:	Akumulátor pro jeden zvolený poloměr.....	- 30 -
Obr. 29:	Obrázek AF č. 1 – výsledek Houghovy transformace	- 32 -
Obr. 30:	Obrázek IR č. 1 – výsledek Houghovy transformace	- 32 -
Obr. 31:	Obrázek AF č. 2 – výsledek Houghovy transformace	- 33 -
Obr. 32:	Obrázek IR č. 2 – výsledek Houghovy transformace	- 33 -
Obr. 33:	Obrázek AF č. 3 – výsledek Houghovy transformace	- 34 -
Obr. 34:	Obrázek IR č. 3 – výsledek Houghovy transformace	- 34 -
Obr. 35:	Obrázek AF č. 4 – výsledek Houghovy transformace	- 35 -
Obr. 36:	Obrázek IR č. 4 – výsledek Houghovy transformace	- 35 -
Obr. 37:	Chyba při aplikaci na AF obraz (obrázek č.5.)	- 37 -
Obr. 38:	Chyba při aplikaci na IR obraz (obrázek č.5.)	- 38 -

Úvod

Hlavním cílem práce je zaměřením se na detekci středu a hranic optického disku v oftalmologických obrazech. Zaměříme se na dvě skupiny obrazů, které se liší způsobem kterým jsou pořizovány. Jednou skupinou jsou tzv. autofluorescenční (dále AF) obrazy a druhou tzv. IR obrazy. Postupně popíšeme jejich vlastnosti, hlavní rozdíly a princip jakým se získávají, tedy principy laserových skenovacích oftalmoskopů.

Před tím než se začneme zabývat samotnou detekcí středu a hranic optického disku, bude zapotřebí zadané obrazy upravit a to především v jasové oblasti, což nám později dopomůže k přesnějším výsledkům. Tomuto předzpracování se budeme věnovat v převážné části práce, neboť je to v podstatě nejdůležitější část postupu a pokud bychom jí zanedbali, výsledky by tím byly velmi ovlivněny.

Po výběru nejvhodnějšího postupu pro předzpracování budeme hledat postup pro nalezení souřadnic středu optického disku a zároveň parametry kružnice, která bude co nejpřesněji lemovat jeho hranice. Vzhledem k tomu, že samotný optický disk nemá přesně tvar kružnice a jeho okraje jsou nepravidelné, budeme hranice kružnicí aproximovat. Jako střed této kružnice použijeme nalezený střed optického disku a dále již nalezneme pouze vhodný poloměr této kružnice.

Od samého začátku budeme s obrazy pracovat v programu Matlab, který nabízí širokou škálu algoritmů jak pro úpravu tak i pro další potřebné kroky. Tyto algoritmy je navíc možné ve většině případů nastavit podle aktuální potřeby, případně je rozšířit nebo vytvářet zcela nové.

1. Obrazy a jejich vlastnosti

Obrazy mají mnoho vlastností ve kterých se liší a podle kterých je také můžeme různě dělit. Mezi ty, se kterými se budeme v této práci zabývat patří intenzita pixelů a velikost obrazu.

1.1. Digitální obraz

Digitální obraz může být definován jako dvourozměrná funkce $f(x,y)$, kde x a y jsou prostorové souřadnice. Amplituda f každého páru souřadnice (x,y) se nazývá intenzita obrazu v daném bodě. Body se nazývají pixely. Digitální obraz je diskrétní pole pixelů. Intenzity pixelů jsou reprezentovány čísly.

K získání digitálního obrazu jsou data převedena z analogové do digitální formy. Kvalitu digitalizace dat určuje rozlišení. Existují dva základní typy rozlišení v digitálních obrazech, hloubkové a prostorové rozlišení. Hloubkové rozlišení je určeno kvalitou digitalizace hodnot amplitudových intenzit. Tento proces se nazývá kvantování. Prostorové rozlišení je určeno kvalitou digitalizace hodnot souřadnic. Tento proces se nazývá vzorkování.

Data v digitálním obraze lze reprezentovat různými modely. V této práci budeme využívat model šedotónový a binární. [1]

1.1.1. Šedotónový model

Intenzita v tomto modelu je reprezentována $2^8 = 256$ úrovněmi. Tento počet úrovní vychází ze vzorce 2^b , kde b je počet bitů. Rozsah intenzit je od bílé, přes šedou až po černou (úroveň 256 reprezentuje bílou). Informaci o intenzitě nese každý pixel v obraze.

1.1.2. Binární model

Zde mohou pixely nabývat pouze dvou hodnot a to buď 1 nebo 0. Hodnota 0 reprezentuje černou a hodnota 1 bílou barvu.

1.2. Formát obrazu

Existuje mnoho obrazových formátů, jako například JPG, JPEG, GIF, TIF, PNG a další. Pro naše potřeby budeme však využívat formát BMP (Bitmap).

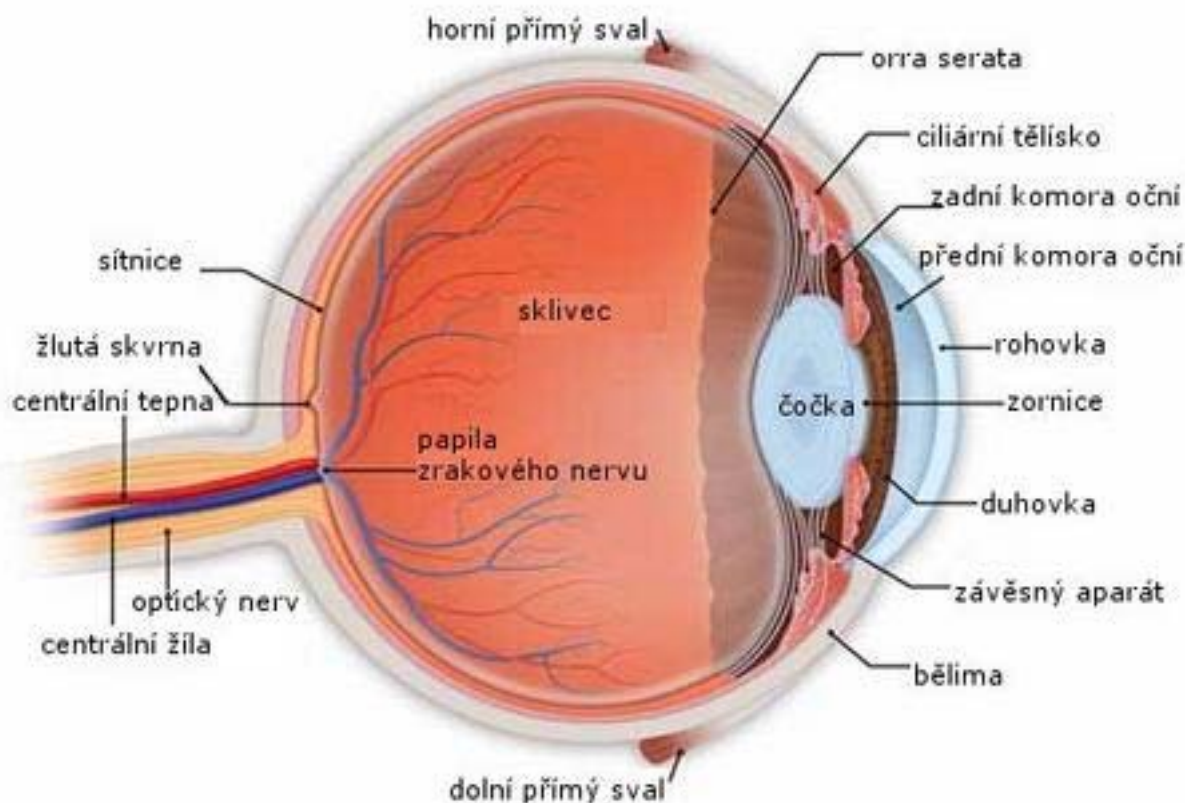
1.2.1. BMP (Bitmap)

BMP je formát pro ukládání rastrové grafiky. Obrazy ve formátu BMP jsou ukládány po jednotlivých pixelech, podle toho kolik bitů je použito pro prezentaci každého pixelu. Tento typ může podporovat až 24 – bitovou reprezentaci. Pro šedou

škálu lze použít 8-bitovou reprezentaci. Soubory ve formátu BMP většinou nepoužívají kompresi. Z toho důvodu jsou obvykle BMP soubory mnohem větší než obrázky stejného rozměru, které kompresi využívají. Výhodou tohoto formátu je jeho jednoduchost a volné použití. [1]

2. Základní anatomie oka

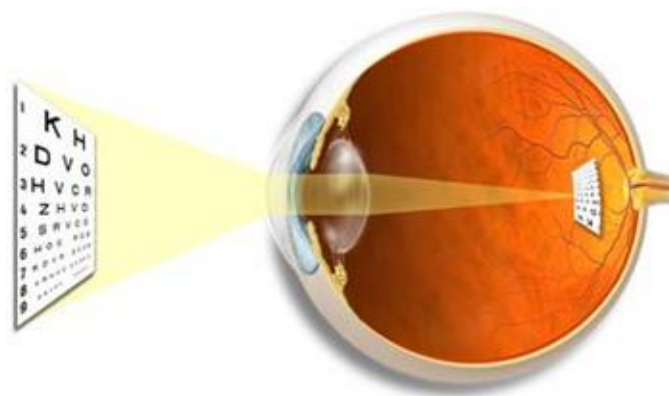
Hlavní struktury, které se nachází uvnitř oka, vidíme na následujícím obrázku.



Obr. 1: Základní anatomie oka [3]

Když se díváme na nějaký předmět, světelné paprsky se odrážejí od tohoto předmětu a vstupují do rohovky. Světelné paprsky jsou ohýbány a koncentrovány do jednoho místa prostřednictvím rohovky, čočky a sklivce. Z těchto tří struktur může pouze čočka měnit svou optickou mohutnost a tak zajišťovat, aby se paprsky koncentrovaly do místa nejostřejšího vidění na sítnici. Výsledný obrázek na sítnici je obrácený vzhůru nohama. Právě na sítnici jsou světelné paprsky přeměněny na elektrické impulsy, které zrakový nerv předává do mozku. Do vzpřímené polohy a výsledné podoby je obrázek upraven až ve zrakovém centru v mozku.

Jak jsou paprsky ohýbány a koncentrovány na sítnici, je zřejmé z následujícího obrázku.

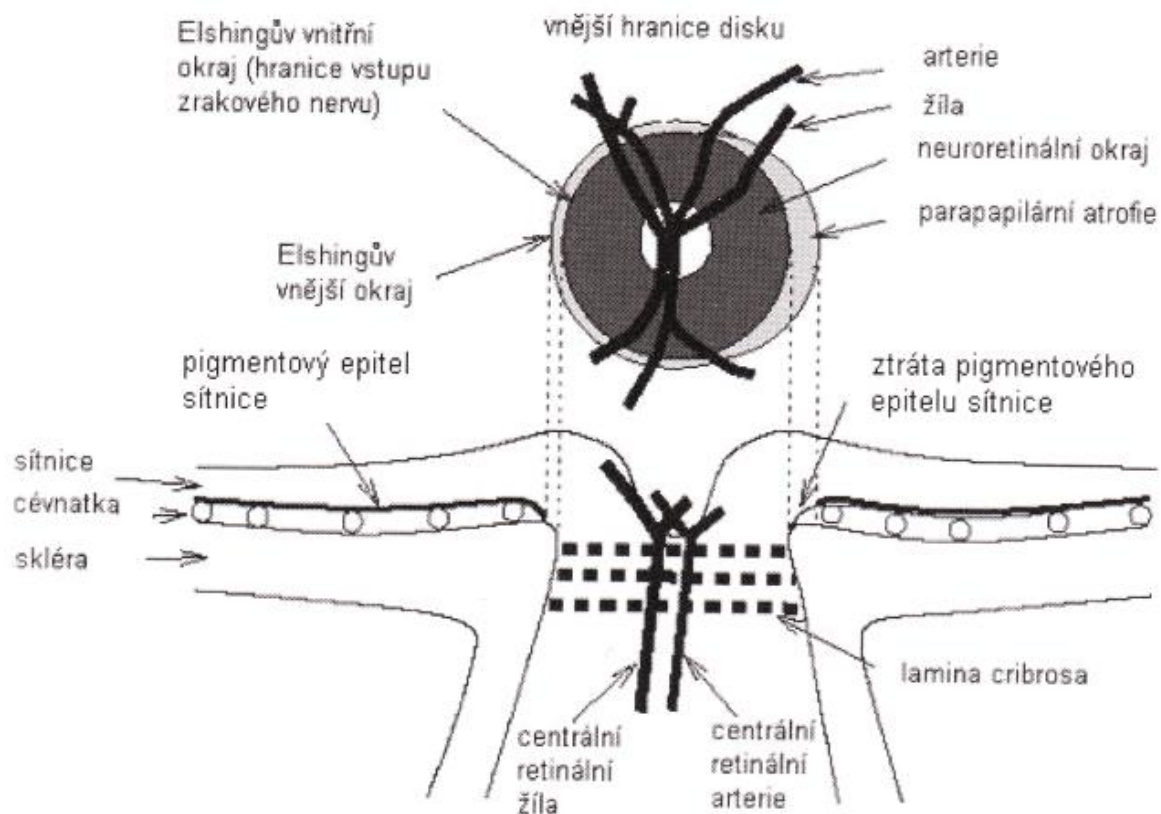


Obr. 2: Princip ohýbání světla na sítnici [3]

Na sítnici se nacházejí dvě důležité struktury - žlutá skvrna a papila zrakového nervu. Žlutá skvrna je místem nejostřejšího vidění, na kterém se tvoří obraz, když čteme nebo upřeně pozorujeme nějaký předmět. Papila zrakového nervu je místo, ve kterém vchází zrakový nerv dovnitř oční koule. V tomto místě se obraz netvoří, proto se také někdy nazývá "slepá skvrna". V našem případě ho budeme označovat za optický disk. [3]

2.1. Schematický popis optického disku

Jak již bylo řečeno, optický disk je místo, kde z oka vystupují nervová vlákna světlocitlivých buněk a dále je místem vstupu arterií a žil. Vstup optického nervu je obklopen Elshingovým sklerálním prstencem (viz. obrázek 3). Oblastně Elshingova vnějšího okraje se nazývá parapapilární oblast. Její vnější hranice není přesně definovatelná. Hranice optického disku je definována Elshingovým vnitřním okrajem. Tvar optického disku je přibližně eliptický s nízkou excentricitou. Typické horizontální a vertikální průměry jsou udávány $1,78 \pm 0,25$ mm resp. $1,9 \pm 0,27$ mm. Lamina cribrosa je tkáň, podobající se sítku, které je tvořeno přibližně jedním milionem nervových vláken uvnitř optického disku.

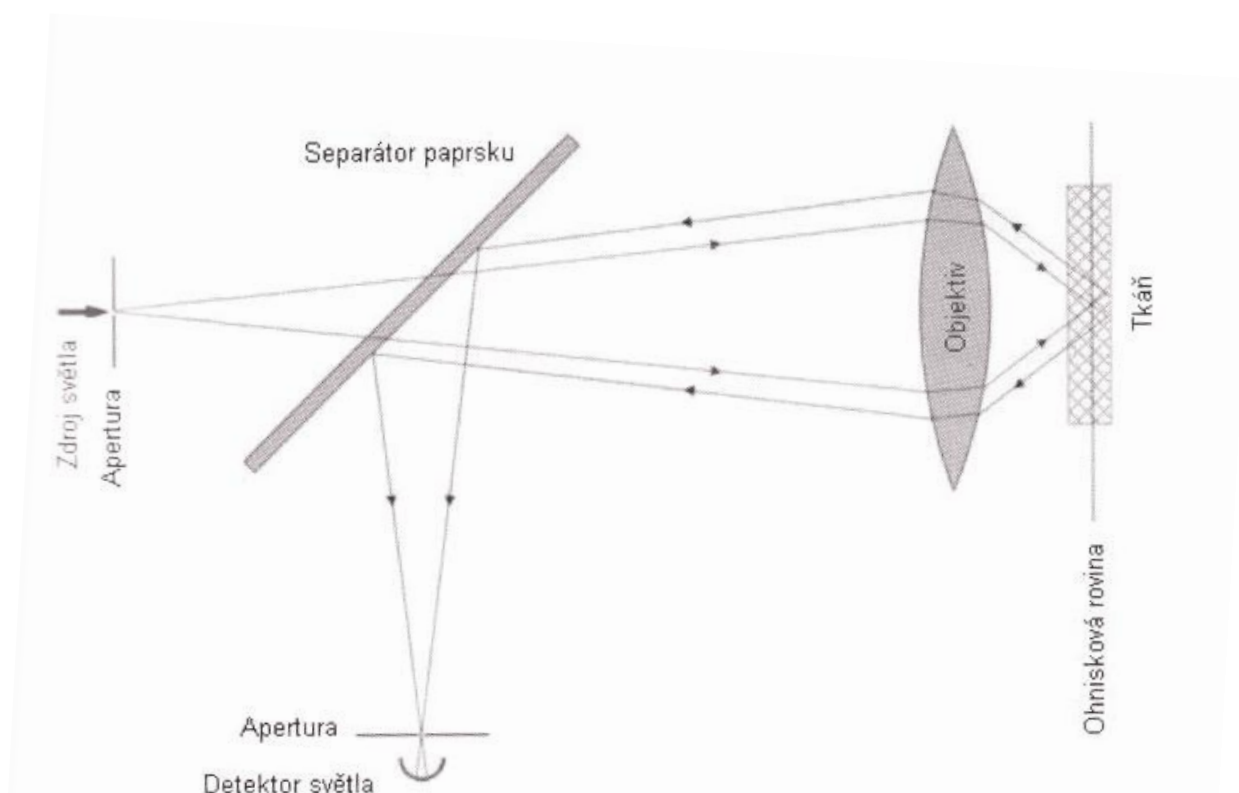


Obr. 3: Schematický popis optického disku [1]

V oblasti parapapilární atrofie, která reprezentuje ztrátu pigmentového epitelu sítnice, dochází k akumulaci lipofuscinu (pigment žlutohnědé barvy). [1]

3. Princip laserových skenovacích oftalmoskopů

Oftalmoskop, neboli oční zrcátko, je lékařská pomůcka, jejíž pomocí je možné pozorovat oční pupilou oční pozadí. Využívá úzký laserový svazek, který osvětluje malou plošku sítnice. Určité množství světla je odraženo zpět a toto množství (odrazivost sítnice) závisí na pigmentaci, přítomnosti krve a je měřeno elektronickým zařízením, jehož signál moduluje jas příslušného bodu na obrazovce. V praxi laserový svazek skenuje oční pozadí a obrázek je vytvářen počítačem z jednotlivých bodů. Konfokální laserový skenovací oftalmoskop slouží pro topografii a angiografii očního pozadí. Detekuje intenzitu fluorescenčního světla, ke kterému dochází při ozáření pozadí primárním laserovým svazkem a vytváří 3D obraz zobrazovaného povrchu. Princip konfokálního laserového skenovacího systému je na obrázku 4. [4]



Obr. 4: Princip konfokálního skenovacího systému [1]

3.1. Skenovací systém HRA2 (Heidelberg Retina Angiograph)

Obrazy získané přístrojem pro zobrazování očního pozadí - HRA2 nesou významnou informaci, kterou nelze získat konvenčními fotografickými systémy. Touto informací je přítomnost tzv. autofluorescenčních zón, která úzce souvisí s některými degenerativními onemocněními sítnice lidského oka. Přítomnost lipofuscinu jako zdroje autofluorescenčního záření je vedlejším efektem těchto onemocnění. Takto získané obrazy budeme dále označovat jako AF obrazy. Tyto obrazy získáme tak, že

vysílaný paprsek je na dané vlnové délce, ovšem detekujeme odražené paprsky na jiné vlnové délce. Tím získáme AF obraz, který je určen především pro zobrazení autofluorescenčních zón. U IR obrazů se používá infračervené světlo, jehož odrazy od sítnice oka jsou přímo detekovány.

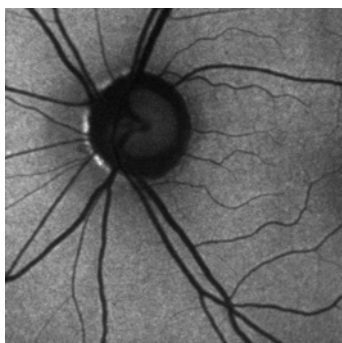
4. Předzpracování obrazů

Zde bude naše snaha směřovat k zlepšení vlastností obrazu ve smyslu zvýšení kontrastu v oblasti hranice optického disku, eliminace drobných nežádoucích segmentů v obrazech apod. Způsoby předzpracování budou odlišné pro AF a IR obrazy, neboť mají odlišné vlastnosti.

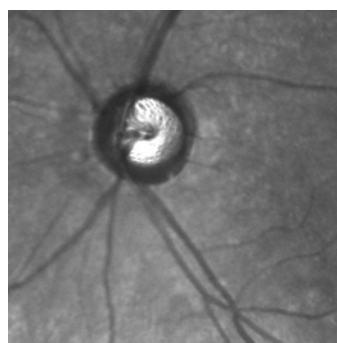
4.1. Vlastnosti zadaných obrazů

K dispozici máme skupinu šestnácti obrazů jak AF tak IR a proto je můžeme přímo porovnávat. Obě skupiny obrazů se navzájem liší svými vlastnostmi. Všechny obrazy jsou ve formátu BMP s rozsahem intenzit 256 úrovní. Všechny obrazy ale nejsou již stejně velké. Obrazy jsou ve dvou velikostech a to 512 x 512 pixelů a 1024 x 1024 pixelů.

Na obrázku 5 je ukázka rozdílu mezi AF a IR obrazem téhož optického disku.



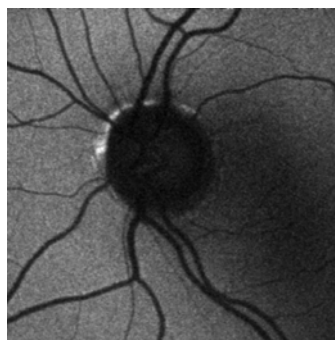
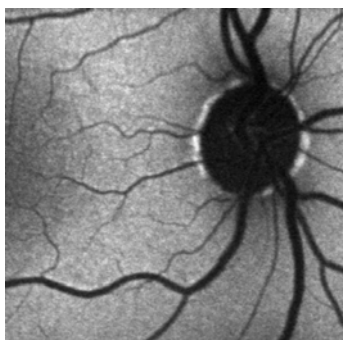
AF



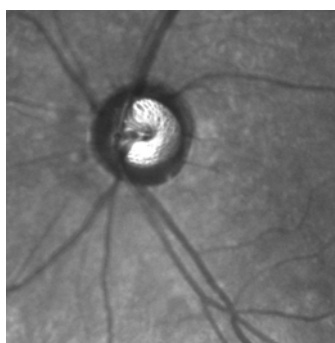
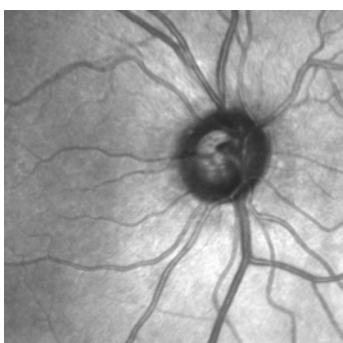
IR

Obr. 5: Porovnání AF a IR obrazu téhož optického disku

AF obrazy jsou z celkového hlediska převážně tmavší. Optický disk je v nich vyobrazen úzkým rozsahem intenzit ze spodní hranice rozsahu (tmavě šedá až černá). Pro IR obrazy to již neplatí, neboť jak je vidět na obrázku 5, střed optického disku je světlý. Jak u AF tak i u IR obrazů jsou samozřejmě výjimky a odlišnosti. Ty pak sebou přinášejí komplikace při dalším zpracování. Ukázky rozdílů mezi jednotlivými AF i IR obrazy jsou na obrázku 6 a 7.



Obr. 6: Ukázka rozdílů u AF obrazů



Obr. 7: Ukázka rozdílů u IR obrazů

4.2. Transformace hodnot jasu

Existují dvě skupiny do kterých lze transformaci hodnot jasu rozdělit: jasové korekce a modifikace jasové stupnice. V případě jasových korekcí závisí jas v bodě výstupního obrazu na jasu odpovídajícího bodu ve vstupním obraze (případně na jasu jeho malého okolí). Jinak je tomu v případě modifikací jasové stupnice kde je jen určitá hodnota jasu ve vstupním obraze transformována na jinou výstupní hodnotu, zcela bez ohledu na polohu v obraze.

4.2.1. Jasové korekce

Jedním z požadavků na snímací a digitalizační zařízení je, aby měla stejnou citlivost bez ohledu na pozici bodu v obraze. V praxi však není v řadě případů tento požadavek splněn. Ve všech optických soustavách platí, že světlo procházející dále od optické osy je více zeslabováno. Stejný nemusí být také světlocitlivý element kamery ve všech svých bodech. Nerovnoměrné osvětlení snímané scény, prachové částice (pokrývající krycí sklo optického senzoru, které, i přes jejich malé rozměry pohlcují světlo a snižují tak citlivost senzoru) jsou nejčastějším zdrojem poruch. Tato změna citlivosti se projeví minimálně v kontrastních scénách s mnoha objekty. Mnohem více ovšem budou patrné při pohledu na scénu o stálém jasu.

Poruchy, které lze potlačit jasovými korekcemi v případě, že známe odchylku citlivosti každého bodu obrazu od ideální převodní charakteristiky, nazýváme systematické. Nejčastěji se předpokládá jednoduchý model porušení obrazu, a to multiplikativním koeficientem $e(x,y)$. Pro každý bod x,y původního obrazu $g(x,y)$ získáme na výstupu hodnotu jasu zkresleného obrazu $f(x,y)$ podle

$$f(x, y) = e(x, y)g(x, y). \quad (1)$$

Při systematické degradaci e stačí při stálých snímacích podmínkách sejmut obraz o známém průběhu jasové funkce $g(x, y)$. Nechť je pro jednoduchost etalonem obraz o konstantním jasu c (etalonová šedá plocha), který po sejmutí a digitalizaci označíme $f_c(x, y)$. Potom můžeme systematické chyby ve snímacím řetězu korigovat podle vztahu

$$g(x, y) = \frac{f(x, y)}{e(x, y)} = \frac{c \cdot f(x, y)}{f_c(x, y)}.$$

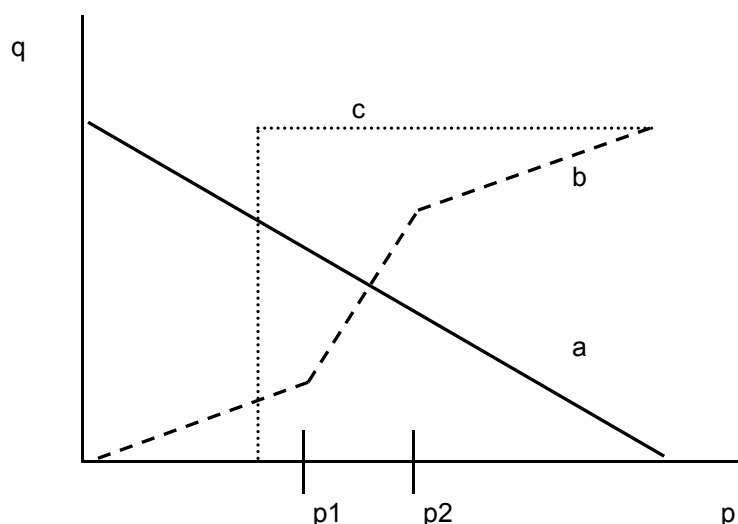
Tato korekce chyb etalonovou šedou plochou platí pouze pro stálé snímací podmínky. V opačném případě je nutné korekční transformační matici znovu stanovit po každém kalibrování snímacího řetězce.

V digitálních obrazech jsou hodnoty jasu omezeny v určitém intervalu. Výpočet korigovaných hodnot podle vztahu (1) však může dát výsledky i mimo přístupný interval jasů. Jsou dvě možné řešení. Jedním je náhrada hodnot jasu vně intervalu jeho krajními hodnotami. Druhou možností je zhuštění nebo posun jasové stupnice tak, aby odpovídala přípustným hodnotám. [2]

4.2.2. Transformace jasové stupnice

Transformace jasové stupnice je stejná pro všechny pixely obrazu, neboť nezávisí na poloze v obraze. Transformace τ výchozí stupnice jasu $p = \langle p_0, p_k \rangle$ na novou stupnici $q = \langle q_0, q_k \rangle$ je dána vztahem

$$q = \tau(p) \quad (2)$$



Obr. 8: Transformace jasu

(a) negativ; (b) zvetšení kontrastu mezi jasy p_1 a p_2 ; (c) prahování, jehož výsledkem je obrázek obsahující jen černou a bílou (každý pixel lze kódovat jediným bitem).

Obvyklé transformace jasové stupnice jsou na obrázku 8. Často se také využívá logaritmické stupnice neboť odpovídá logaritmické odezvě detektorů lidského oka citlivých na jas. Využívá se v displejích nebo kamerách. Proto můžeme pouhým okem pozorovat jasy, jejichž intenzita se mění v rozmezí až 9 řádů. U výrobků se tato logaritmická transformace označuje jako γ (gama) korekce. V případě použití výrobku pro měřicí účely, je potřeba γ korekci vypnout.

Transformace jasové stupnice je v praxi důležitá především pro úpravu obrazu, které zajišťují pozorovateli snazší interpretaci vizualizovaného obrazu. Například snaha zvýšit kontrast původně nekонтрастního rentgenového obrazu.

Velmi snadno se realizují transformace jasové stupnice a digitálních monochromatických obrazů, které mají typicky velmi omezený počet jasových úrovní. Obvykle 256 úrovní reprezentovaných v osmi bytech. V obrazových perifériích jsou vytvořeny tzv. vyhledávací tabulky pomocí paměti o tolika paměťových místech, kolik je jasových úrovní. V paměti jsou pak obsaženy nové hodnoty jasu, které jsou výsledkem transformace. Výsledek transformace bývá možné pozorovat v reálném čase, protože vyhledávací tabulka bývá zařazena do cesty obrazového signálu. [2]

4.3. Postup předzpracování

Předzpracování obrazu provedeme ve třech krocích (viz. obrázek 9). Prvním bude úprava velikosti na potřebnou velikost. Druhým potom aplikace filtru, který vyhladí neboli „rozmaže“ příliš velké skokové změny intenzity pixelů. Nakonec využijeme pro zvýraznění optického disku jednu z možných funkcí, které Matlab nabízí.



Obr. 9: Postup předzpracování

4.3.1. Úprava velikosti obrazu

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1 jsou výsledné obrazy ve dvou různých velikostech. A to 1024 x 1024 pixelů nebo 512 x 512 pixelů. Neboť při dalším zpracování je nutné aby byly obrazy pouze v jedné velikosti, zmenšíme obrazy o velikosti 1024 x 1024 pixelů na 512 x 512 pixelů. Využijeme k tomu jednoduché podmínky a jednoduchých matematických operací.

```

[m,n] = size(obr_1); % Zjištění velikosti obrazu

if (m == 1024) % Podmínka zda je velikost obrazu
                rovna 1024 x 1024 pixelů

    obr_1 = obr_1(1:2:end,1:2:end); % Zmenšení velikosti obrazu

end
  
```

4.3.2. Použití filtru pro rozmazání

Předdefinovanou maticí o velikosti 5 x 5 zaplněnou jedničkami mírně rozmazeme daný obraz. Tím se částečně eliminují, případně zcela odstraní, světlé body v oblasti optického disku.

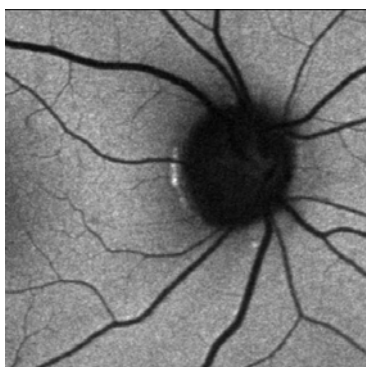
```
h = ones( 5, 5 )/25; % Vytvoření matice 5 x 5 zaplněné  
                        jedničkami  
obr_1 = conv2( obr_1, h, 'same' ); % Rozmazání obrazu maticí h  
  
obr_1 = double(ImageNorm(obr_1,[0 255])); % Úprava jasového rozmezí obrazu;  
                                           převod na typ double
```

Při rozmazání obrazu pomocí funkce conv2 dojde k posunu rozsahu intenzit. Funkce ImageNorm upraví rozsah intenzity na původních 256 úrovních (0 – 255). Dále se již budeme zabývat zvýrazněním optického disku pomocí úprav intenzity pixelů.

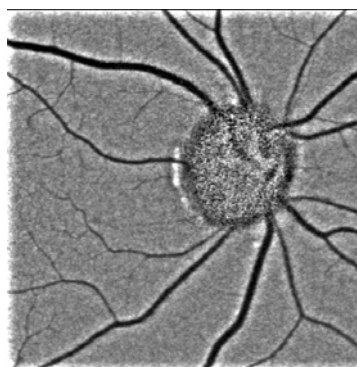
4.3.3. Úprava intenzity

Matlab nám nabízí řadu funkcí pro úpravu intenzity obrazů. Vybírat je budeme opět experimentálně. Vzhledem k různým vlastnostem obrazů, které byly popsány v kapitole 4.1 *Vlastnosti zadaných obrazů*, není zcela možné přesně určit který algoritmus bude fungovat nejlépe. Je také potřeba počítat s tím, že vybraný algoritmus nemusí být stejně účinný na všechny obrazy daného typu. Aplikovat budeme tři funkce a to histeq, imadjust a corrilum. Z nich na závěr vybereme tu nejvhodnější jak pro AF tak IR obrazy.

Corrillum je funkce která není přímo součástí matlabu. Její princip je založen na využití mnoha dalších funkcí z Matlabu. Jak se změní AF obraz po aplikaci této funkce je patrné na obrázku 10 a IR obraz poté na obrázku 11.

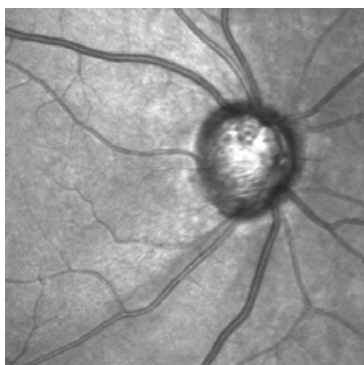


Původní obraz

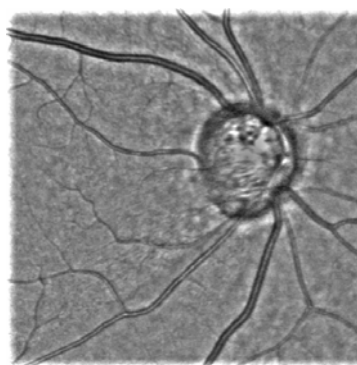


Po aplikaci funkce

Obr. 10: Aplikace funkce corillum na AF obraz



Původní obraz



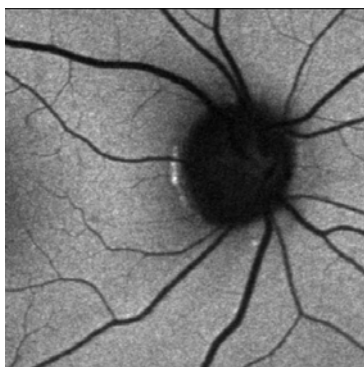
Po aplikaci funkce

Obr. 11: Aplikace funkce corrillum na IR obraz

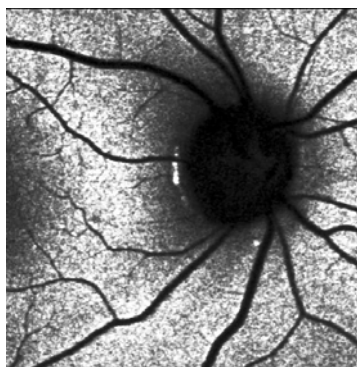
Z předcházejících obrázků je zřejmé že užití funkce corrillum není pro naše potřeby vhodné a proto se jejími vlastnostmi nebudeme dále již zabývat.

Histeq - tato funkce využívá tzv. ekvalizace (vyrovnání) histogramu. Pokud je histogram obrazu vyrovnán, jsou četnosti všech jasových úrovní přibližně stejné. U digitálních obrazů nejde dosáhnout ideálního (všechny jasové úrovně jsou zastoupeny stejně četně) histogramu, neboť v nich je málo jasových úrovní a mnoho pixelů. Ekvalizace zvýší kontrast pro úrovně jasu blízko maxim histogramu a sníží kontrast blízko minim histogramu. Ukázky změn histogramu obrázků jsou dále zobrazeny. Pokud označíme histogram výchozího obrazu $H(p)$, který má jasovou stupnici $p = \langle p_0, p_k \rangle$, můžeme odvodit postup ekvalizace. Hledáme monotónní transformaci jasové stupnice $q = \tau(p)$ takovou, aby výsledný histogram $G(q)$ byl rovnoměrný v celém rozsahu výstupního intervalu jasů $q = \langle q_0, q_p \rangle$. [2]

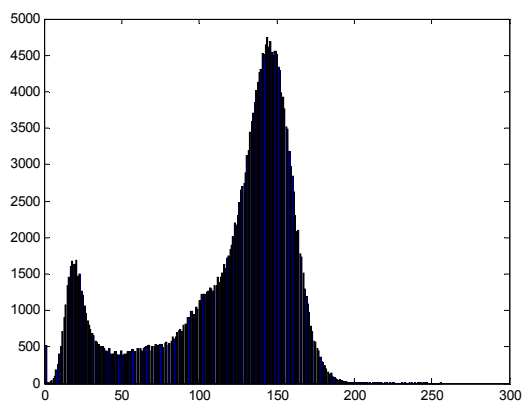
Na obrázku 12 je původní AF obraz a obraz po užití funkce histeq, jejich histogramy a zobrazené hloubky intenzity řádku pixelů v polovině obrazu. A pro IR obraz na obrázku 13.



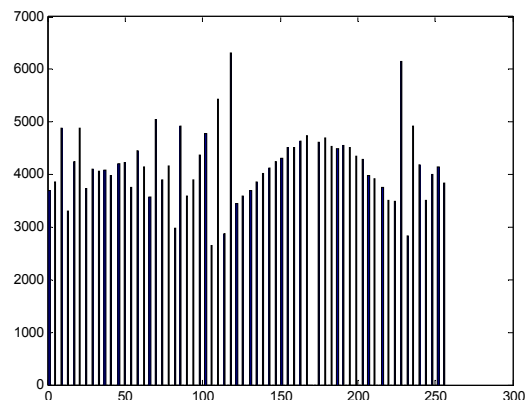
Původní obraz



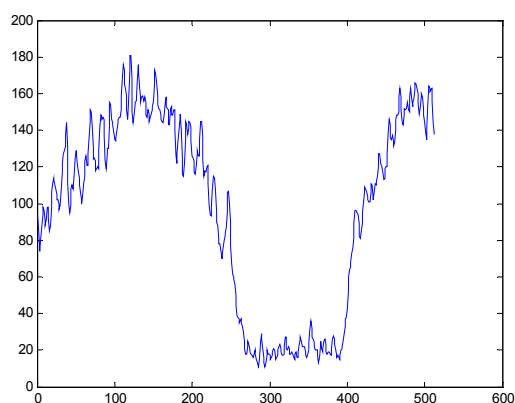
Po aplikaci funkce



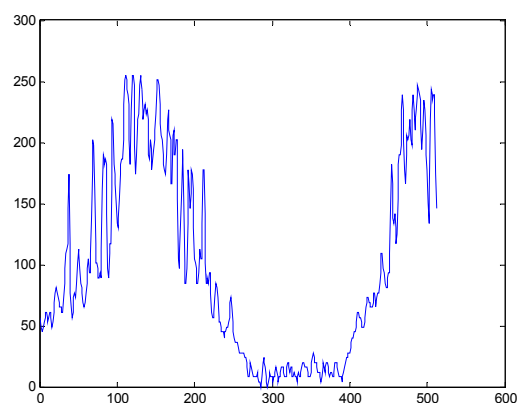
Histogram původního obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



Histogram upraveného obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



Intenzita pixelů na 256. řádku
původního obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)

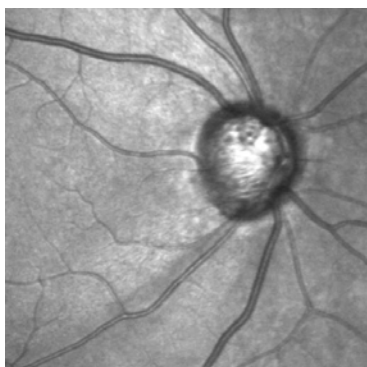


Intenzita pixelů na 256. řádku
upraveného obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)

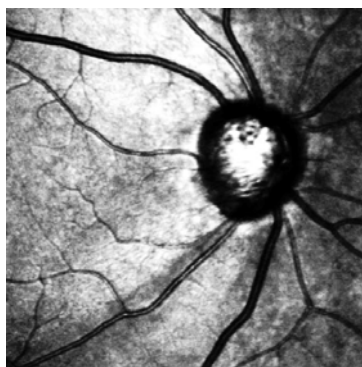
Pozn.: na těchto „průřezech“ intenzity obrazu je optický disk s místech, kde je vidět náhlý pokles intenzity k nulové hodnotě. Tento pokles je přibližně okolo 160 pixelů, což odpovídá průměru optického disku.

Obr. 12: Aplikace funkce *histeq* na AF obraz

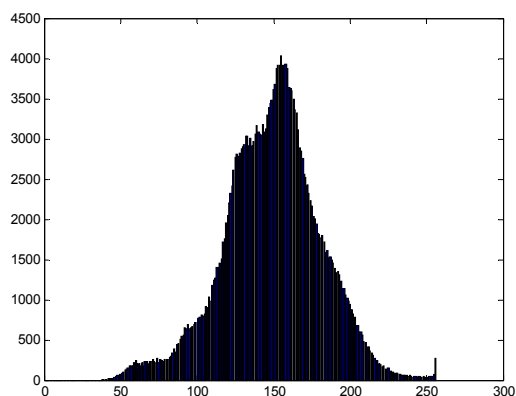
I použití této funkce není u AF obrazů zcela ideální. Je vidět že histogram obrazu je téměř vyrovnaný, ovšem pokud se podíváme jak se změnila intenzita pixelů na 256. řádku, je zřejmé že dojde místo potřebného zvýšení kontrastu na pomyslné hranici optického disku k jeho snížení.



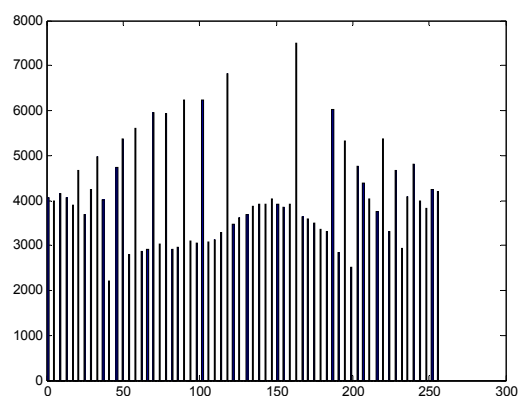
Původní obraz



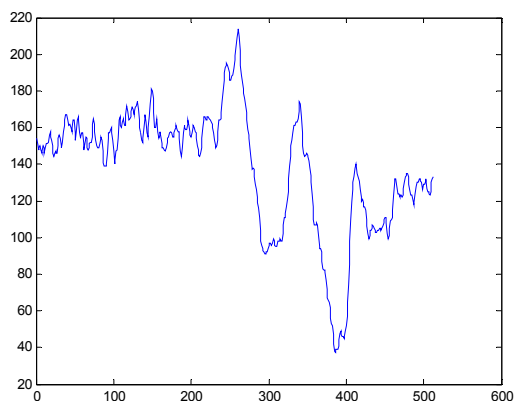
Po aplikaci funkce



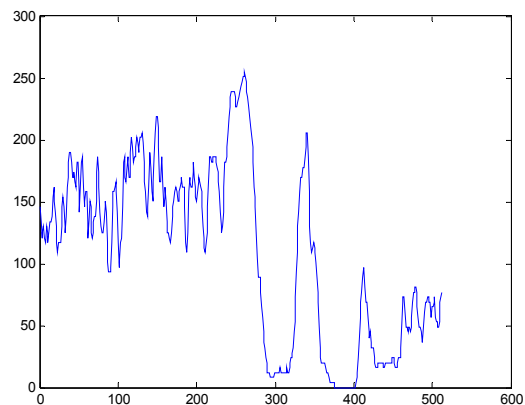
Histogram původního obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



Histogram upraveného obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



Intenzita pixelů na 256. řádku
původního obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)

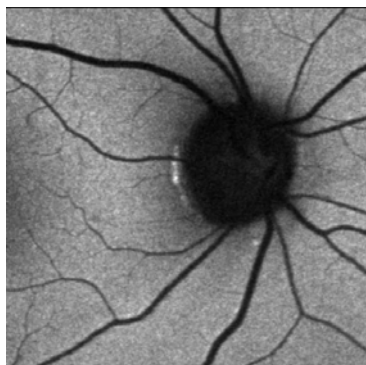


Intenzita pixelů na 256. řádku
upraveného obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)

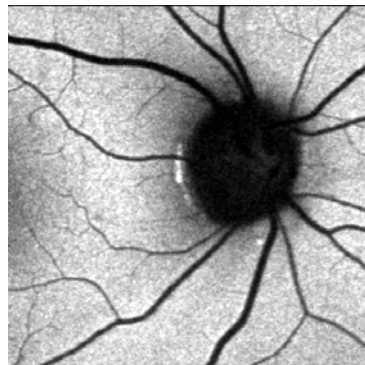
Obr. 13: Aplikace funkce histeq na IR obraz

Pro IR obrazy již k potřebnému zvýšení kontrastu v oblasti hranic optického disku dochází. Opět je to patrné z intenzity pixelů v jeho okolí. Jak dále poznáme, je funkce histeq pro úpravu IR obrazů nejvhodnější.

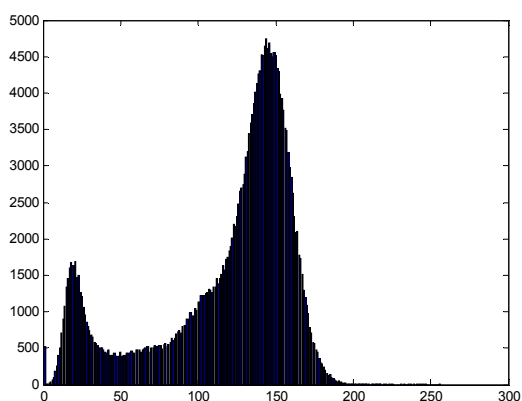
Imadjust - stejně jako u funkce `histeq`, je i zde využito práce s histogramem obrazu. Změnou je, že zde se hodnoty jasů rozprostírají do celého rozsahu 256 hodnot jasu. Tímto je docíleno většího kontrastu mezi světlými a tmavými body obrazu. Obrázek 14 ukazuje aplikaci funkce na AF obrázy a obrázek 15 na IR obrazech.



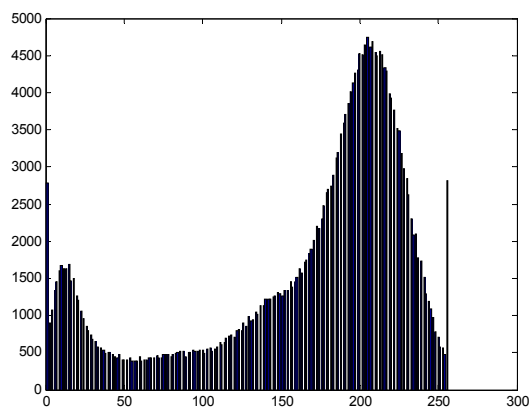
Původní obraz



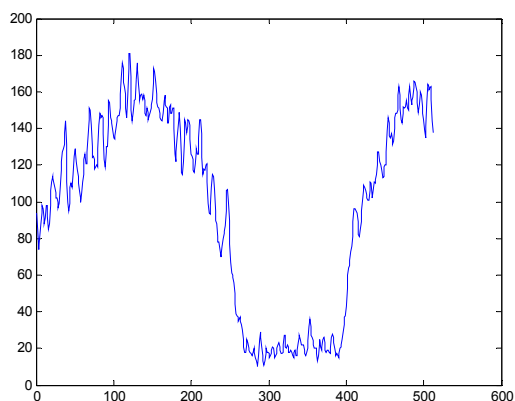
Po aplikaci funkce



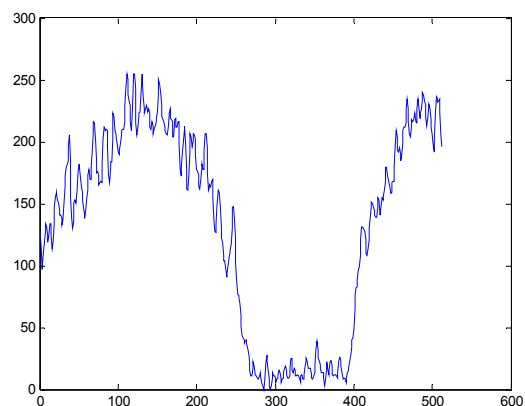
Histogram původního obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



Histogram upraveného obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



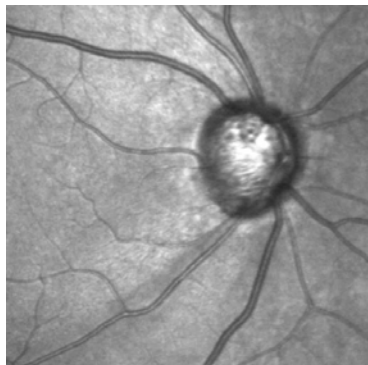
Intenzita pixelů na 256. řádku
původního obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)



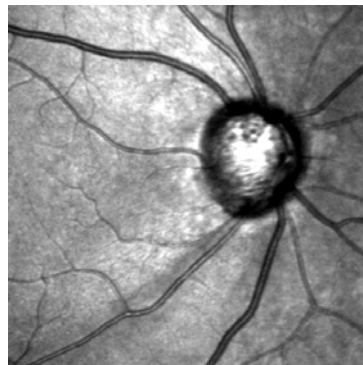
Intenzita pixelů na 256. řádku
upraveného obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)

Obr. 14: Aplikace funkce `imadjust` na AF obraz

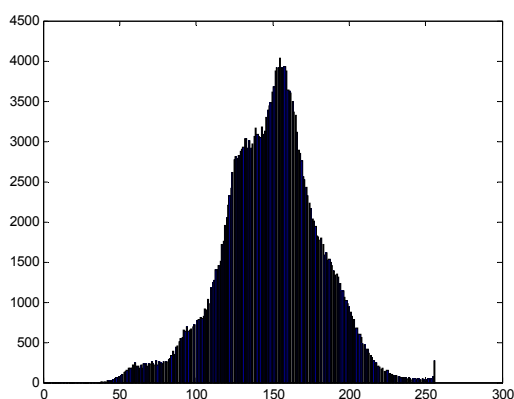
Kontrast na hranici optického disku je zde zvýšen. To je způsobeno že po aplikaci funkce není minimální úroveň intenzity okolo 25 ale již kolem 15. Stejně tak je to s horní hranicí intenzity, která se z původních cca 180 rozšířila na maximální možnou hodnotu 256. Pro AF obrazy můžeme tedy za nejvhodnější zvolit použití funkce *imadjust*.



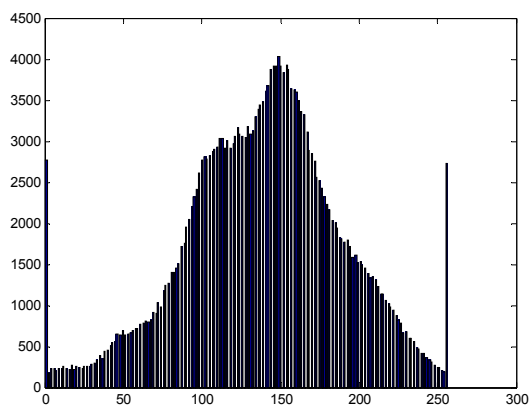
Původní obraz



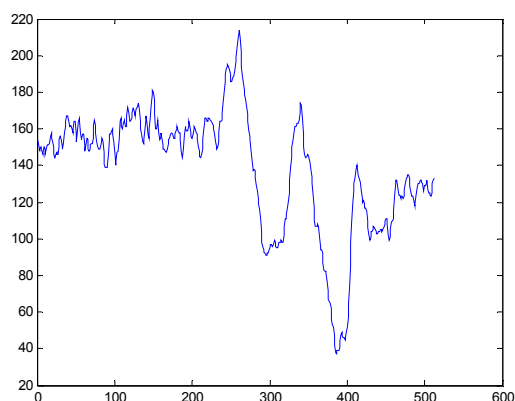
Po aplikaci funkce



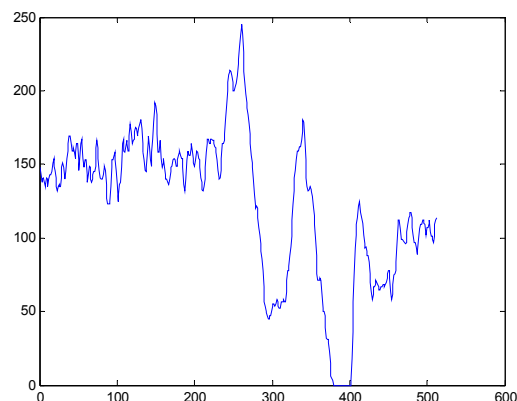
Histogram původního obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



Histogram upraveného obrazu
(frequency = $f(\text{intensity})$)



Intenzita pixelů na 256. řádku
původního obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)



Intenzita pixelů na 256. řádku
upraveného obrazu
(intensity = $f(\text{pixel})$)

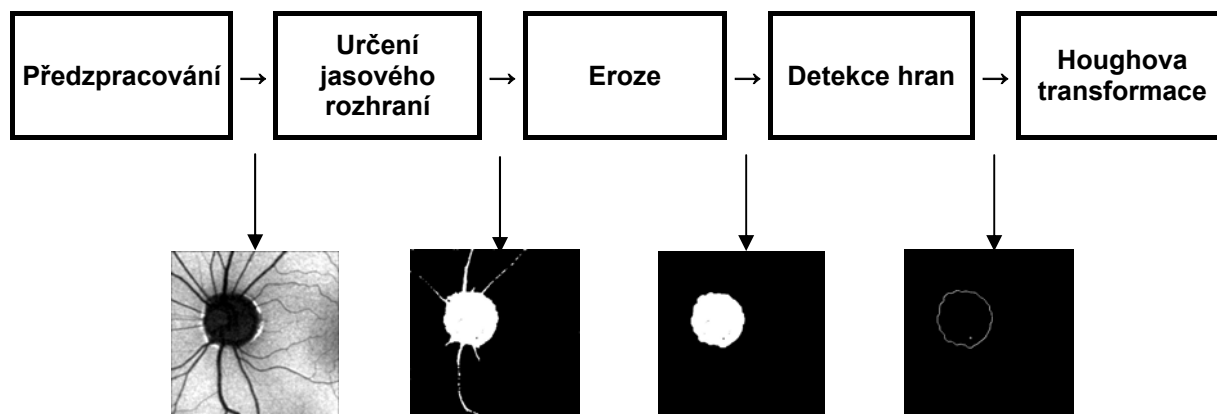
Obr. 15: Aplikace funkce *imadjust* na IR obraz

Jak jsme již zmínili u použití funkce `histeq`, pro IR obrazy bude nejvhodnější aplikovat právě funkci `histeq`.

Před aplikací algoritmu pro detekci středu a hranic optického disku budeme tedy na AF obrazy aplikovat funkci `imadjust` a na IR obrazy funkci `histeq`.

5. Detekce optického disku – postup

Samotná detekce optického disku je provedena v několika krocích. Na obrázku 16 je schéma pro postup detekce optického disku a výsledky jednotlivých kroků.



Obr. 16: Postup detekce optického disku

Po již zmíněném předzpracování určíme v obraze hodnotu jasu, která bude tvořit jasovou hranici pro vytvoření černobílého obrazu. Následnou erozí eliminujeme, případně zcela odstraníme (záleží na konkrétním obraze a jeho vlastnostech), stále viditelné cévy. Na takto zvýrazněný optický disk aplikujeme hranový detektor. Zvýrazněné hrany využijeme dále k určení středu a hranic optického disku pomocí tzv. Houghovy transformace.

5.1. Určení jasového rozhraní

Úpravy obrazu popsané v kapitole 3. *Předzpracování obrazů* nám umožní lepší výchozí podmínky pro vytvoření černobílého obrazu. Optický disk a cévy v jeho okolí jsou v obraze tmavě šedé až černé. To nám umožňuje oddělit je od pozadí. Jednou z možností jak určit hranici intenzity, která určí hranici mezi černou a bílou je manuální nastavení, druhou možností je určení pomocí funkce `im2bw graythresh`.

5.1.1. Manuální určení

V tomto případě nastavíme úroveň intenzity experimentálně. V kapitole 4.3.3. *Úprava intenzity* jsme zobrazily intenzitu na 256. řádku v obraze. Z těchto průběhů zvolíme přibližnou úroveň intenzity, která nám bude hledanou hranici tvořit. Aplikujeme ji na všechny zadané obrazy a postupně upravíme na nejpříjemnější hodnotu. V programu je pak zápis následující:

```

indc = find(obr_1>45);           % Nalezení pixelů s úrovní intenzity
                                % vyšší než zvolená úroveň 45
indb = find(obr_1<46);           % Nalezení pixelů s úrovní intenzity
                                % nižší než zvolená úroveň 46

obr_1(indb) = 255;               % Pixelům s původní hodnotou menší než
                                % 46 přiřadíme úroveň 255
obr_1(indc) = 0;                 % Pixelům s původní hodnotou větší než
                                % 45 přiřadíme úroveň 0

```

Pro AF obrazy jsme zvolily hodnotu úrovně intenzity 45. Tedy pixelům s menší intenzitou (tmavě šedá až černá) přiřadíme intenzitu s úrovní 255 (bílá) a naopak. Tím docílíme přímo invertovaného obrazu. Pro IR obrazy je postup zcela stejný, liší se pouze v hodnotě úrovně intenzity, která je pro ně zvolena na 35.

5.1.2. Určení pomocí funkce `graythresh` a `im2bw`

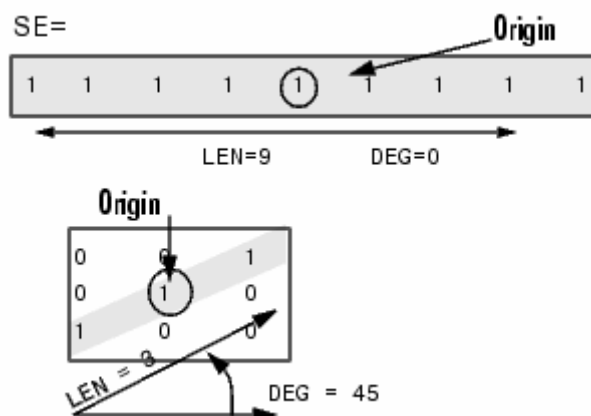
Pomocí `graythresh` se vypočítá pro příslušný obraz hranice intenzity, což je vlastně parametr *level* který je nutný pro zadání samotného převodu na binární model pomocí `im2bw`.

Výsledný obraz má v tomto případě také pouze dvě barevné složky (černou a bílou). Úroveň intenzity která tvoří hranici je pro každý zadaný obraz jiná, neboť `graythresh` dopočítává. To je zároveň komplikací. Pokud se v obraze vyskytují výrazněji tmavší nebo naopak světlejší oblasti, tak se to vy výpočtu hranice intenzity negativně projeví. Je zde sice možnost nastavení parametru *level*, ovšem opět není možné vyhledat kompromisní nastavení které by bylo aplikovatelné na všechny zadané obrazy. Z toho důvodu zůstaneme u manuálního nastavení.

5.2. Eroze

Po vytvoření černobílého obrazu zůstávají okolo disku cévy, které měly hodnotu úrovně intenzity stejnou jako optický disk a proto nebyly odstraněny. Ty odstraníme pomocí tzv. eroze. Eroze se používá pro zjednodušení struktury objektů – objekty tloušťky 1 se ztratí, a tak se složitější objekt rozdělí na několik jednodušších. Erozi můžeme také interpretovat jako systematické posouvání strukturního elementu po obrazu. V tomto případě však erozi využijeme jako isotropické smrštění objektů (cévy a skvrny okolo optického disku). Několikanásobnou aplikací vhodně nastavené eroze dojde téměř k vyhlazení těchto objektů.

U použité funkce `imerode` zadáme název zpracovávaného obrazu a parametr *strel*, v němž můžeme vybírat z několika modelů. Zvolíme model *line* u kterého nastavíme dále co nejvhodněji jeho parametry, kterými jsou délka a úhel. Na obrázku 17 jsou tyto parametry zobrazeny na příkladu.



Obr. 17: Parametry funkce strel pro model line

Postupným zkoušením a porovnáváním se jako nejvhodnější nastavení modelu ukázalo následující: LEN (délka) = 3; DEG (úhel) = 0°, 45°, 90° a 135°. Čtyři různé úhly volíme pro rychlejší a efektivnější vyrušení objektů v různých směrech a menší deformaci samotného optického disku.

5.2.1. Postupná aplikace eroze

Experimentálně bylo ověřeno že pro naše potřeby je vhodné takto nastavenou erozi aplikovat postupně čtyřikrát ve všech čtyřech směrech. Zápis a výsledky jednotlivých kroků poté vypadají následovně:

```
se1 = strel('line',3,0);
se2 = strel('line',3,45);
se3 = strel('line',3,90);
se4 = strel('line',3,135);
-----
```



Obr. 18: Původní obrázek před erozí

```
obr_1 = imerode(obr_1,se1);
obr_1 = imerode(obr_1,se2);
obr_1 = imerode(obr_1,se3);
obr_1 = imerode(obr_1,se4);
-----
```



Obr. 19: Po první provedené erozi

```

obr_1 = imerode(obr_1,se1);
obr_1 = imerode(obr_1,se2);
obr_1 = imerode(obr_1,se3);
obr_1 = imerode(obr_1,se4);
-----

```



Obr. 20: Po druhé provedené erozi

```

obr_1 = imerode(obr_1,se1);
obr_1 = imerode(obr_1,se2);
obr_1 = imerode(obr_1,se3);
obr_1 = imerode(obr_1,se4);
-----

```



Obr. 21: Po třetí provedené erozi

```

obr_1 = imerode(obr_1,se1);
obr_1 = imerode(obr_1,se2);
obr_1 = imerode(obr_1,se3);
obr_1 = imerode(obr_1,se4);
-----

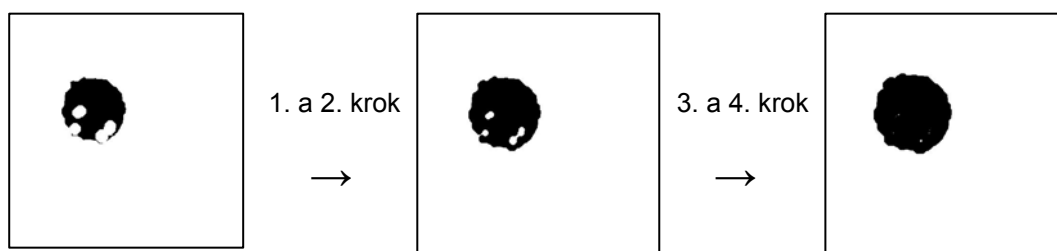
```



Obr. 22: Po čtvrté provedené erozi

V uvedeném případě je zřejmé že by dostatečně stačilo aplikovat zvolený model eroze dvakrát, ovšem ne všechny obrazy mají stejné počáteční vlastnosti. Více kroky tak zajistíme, že uvedený postup bude funkční u většiny obrazů.

Tímto krokem se však zmenší i samotný optický disk. Pokud bychom s tímto výsledným obrazem pracovali dále, dosáhli bychom sice dobrých výsledků při hledání středu disku ale nemohli bychom určit velikost kružnice, která bude aproximovat jeho hranice. Proto musíme dosáhnout původní velikosti optického disku. Avšak tzv. dilatace, která má opačný účel než eroze, nemá zcela stejné vlastnosti. Požadovaného výsledku docílíme tedy tak, že v obraze invertujeme barvy a aplikujeme opět erozi se stejnými parametry. Invertované obrázky, druhý a čtvrtý krok, jsou znázorněny na obrázku 23.



Obr. 23: Zvětšení optického disku do původní velikosti

5.3. Aplikace hranových detektorů

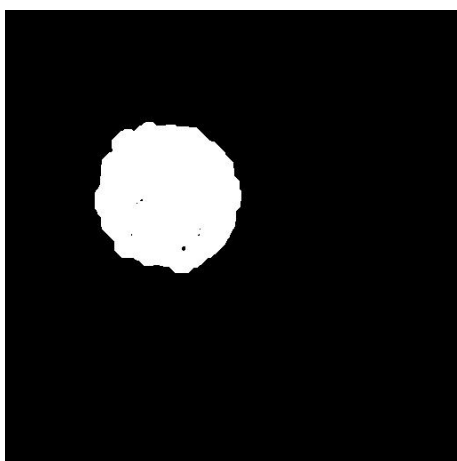
Hranové detektory jsou předem definované matice pomocí nichž hledáme v obrazech strmé přechody intenzit jasů, tedy hrany odlišných objektů v obraze. matlab nabízí hned několik předdefinovaných detektorů. Výhodou zde je, že nemusíme vybírat detektory speciálně pro AF a IR obrazy, neboť při jejich aplikaci pracujeme v obou případech již pouze s binárním modelem obrazů.

K nalezení hranice optického disku nám postačí některý z jednodušších detektorů jako jsou Sobelův, Prewittův a Robertsův hranový detektor.

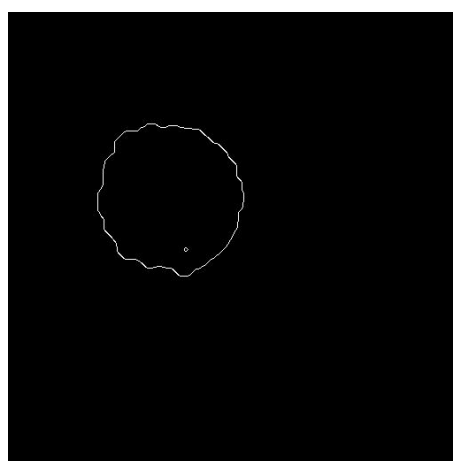
5.3.1. Sobelův hranový detektor

Aproximuje první derivaci. Okolí 3 x 3 pro osm směrů, vybírá se ta maska, které odpovídá největší modul gradientu.

Příklady konvoluční masky $h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$, $h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$.



Vstupní obraz



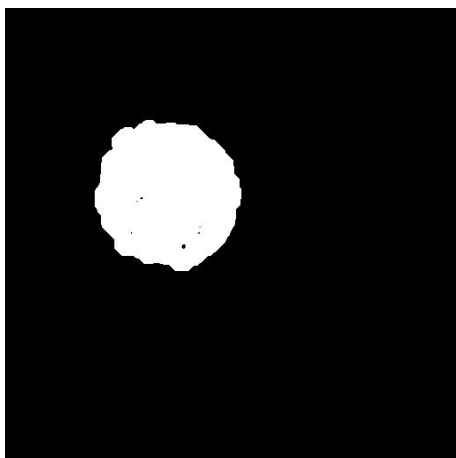
Sobelův hranový detektor

Obr. 24: Aplikace Sobelova detektoru

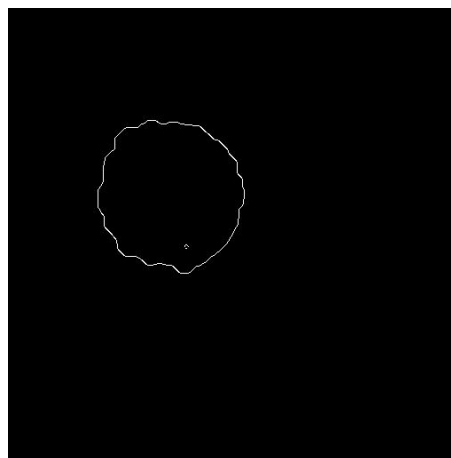
5.3.2. Prewittův hranový detektor

Princip je stejný jako u Sobelova detektoru, liší se pouze v hodnotách v matici.

Příklady konvoluční masky $h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$, $h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$.



Vstupní obraz



Prewittův hranový detektor

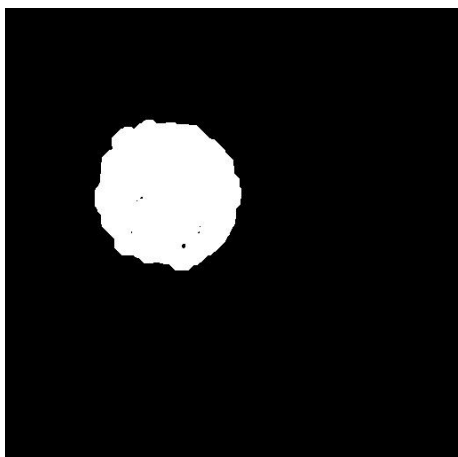
Obr. 25: Aplikace Prewittova detektoru

5.3.3. Robertsův hranový detektor

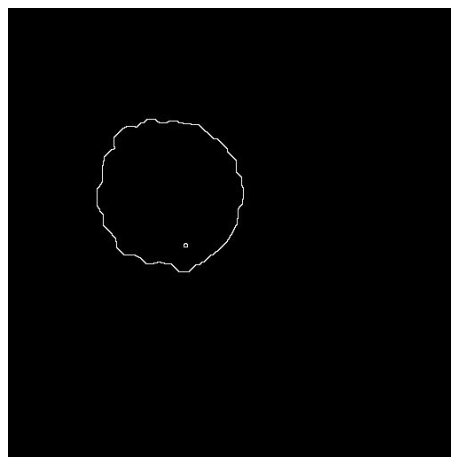
Příklady konvoluční masky $h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$, $h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$.

Nevýhodou je velká citlivost na šum, protože okolí použité pro aproximaci je malé. To nám však v našem případě nevadí, neboť pracujeme s obrazem v binárním modelu, kde šum není.

Na obrázku 26 je výsledek Robertsova hranového detektoru.



Vstupní obraz

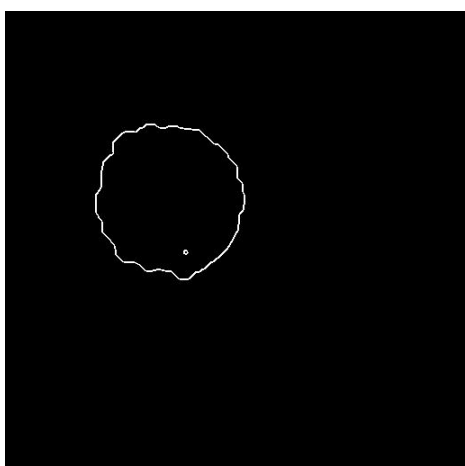


Robertsův hranový detektor

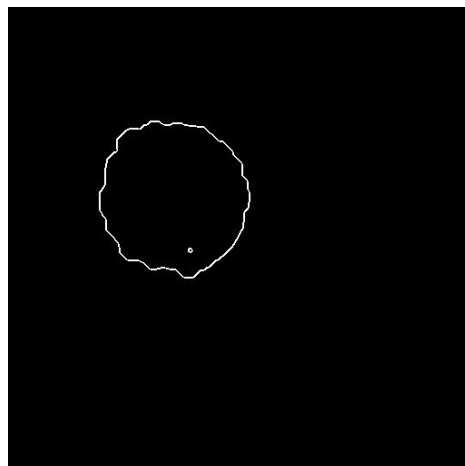
Obr. 26: Aplikace Robertsova detektoru

5.3.4. Sloučení detektorů

Dále bychom mohli využít jakýkoli z těchto tří uvedených detektorů, neboť výsledky jsou si hodně podobné. Naším cílem je však určit střed a hranice optického disku co nejpřesněji a proto se musíme snažit eliminovat různé nedostatky. Pomocí hranových detektorů si můžeme pomoci tak, že na stejný obraz aplikujeme dva hranové detektory a jejich výsledky sečteme. Tím se hranice optického disku zvýrazní a je reprezentována více pixely. Menší nedostatky jsou v tu chvíli také reprezentovány více pixely, ale jejich zvýraznění je oproti optickému disku zanedbatelné. Z popisu jednotlivých detektorů je zřejmé že by bylo zbytečné slučovat detektor Sobelův a Prewittův, neboť jejich rozdíl je pouze v konvoluční masce. Proto se zaměříme na použití kombinace Sobelova s Robertsovým a Robertsova s Prewittovým. Jejich výsledné kombinace jsou na obrázku 27.



Sobel & Roberts



Roberts & Prewitt

Obr. 27: Sloučení hranových detektorů

Rozdíl není příliš velký, ale mírně lepších výsledků dosahuje kombinace Sobelova a Robertsova hranového detektoru.

5.4. *Houghova transformace*

Houghova transformace je asi nejrozšířenějším detekčním algoritmem vůbec, který dosahuje dobré přesnosti. Houghova transformace je metoda pro nalezení parametrického popisu objektů v obraze. Při implementaci je třeba znát analytický popis tvaru hledaného objektu. Proto je tato metoda používána pro detekci jednoduchých objektů v obraze jakými jsou přímky, kružnice, elipsy apod. Mezi výhody této metody rovněž patří dobrá odolnost vůči nepravidelnostem a porušením hledané křivky.

Křivky v rovině lze popsat několika způsoby, například parametrickou nebo analytickou rovnicí. Například v případě kružnice, je tento geometrický objekt popsán rovnicí

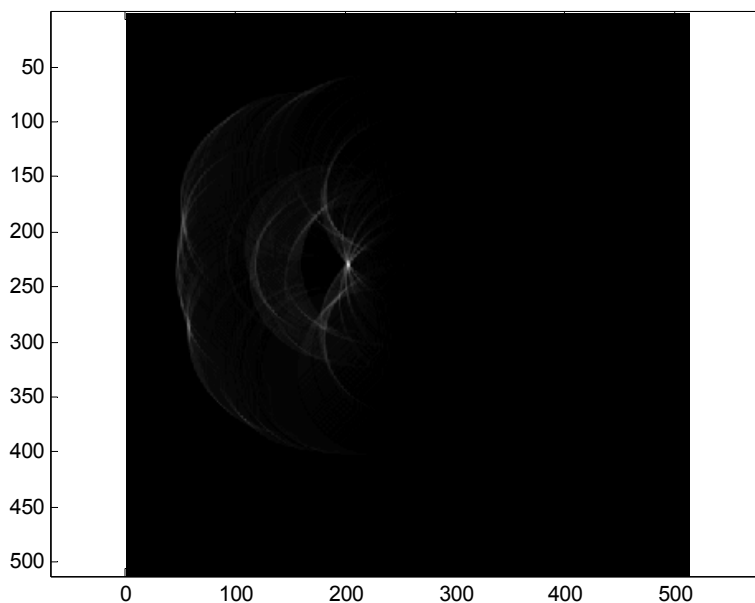
$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (3)$$

Kde r je poloměr kružnice
 a, b jsou souřadnice středu kružnice

Zdrojový kód v matlabu potom vypadá následovně:

```
[Y,X] = size (edgeImage);
maximum = 1;
H = zeros (21,Y,X);
for R = 65:85;
for x = 1:X;
    for y = 1:Y;
        if edgeImage(y,x) ~= 0;
            for y0 = 1:Y;
                if (R^2-(y-y0)^2) >= 0;
                    x0 = round(x-sqrt(R^2-(y-y0)^2));
                    if (x0 > 0) && (x0 <= X);
                        H(R-64,y0,x0)=H(R-64,y0,x0)+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
```

Komentovaný zdrojový kód celého algoritmu je k dispozici na přiloženém CD. Nejdříve vytvoříme nulovou matici H (neboli akumulátor) o velikosti zpracovávaného obrazu. Tato matice je třírozměrná, neboť budeme hledat i optimální poloměr hledané kružnice, která bude aproximovat hranice optického disku. Pro AF obrazy jsme zvolili 21 různých poloměrů a to od 65 do 85 pixelů. Pro IR obrazy je potom zvolen poloměr od 65 do 80 pixelů, což je 16 různých hodnot. Poté procházíme obraz bod po bodu a v případě že na daných souřadnicích není nulová hodnota, aplikujeme rovnici kružnice. V případě že je y_0 v rozsahu od 0 do Y, přičte se hodnota 1 k pozici akumulátoru, kterým prochází křivka s parametry x, y. Výsledný akumulátor je na obrázku 28.



Obr. 28: Akumulátor pro jeden zvolený poloměr

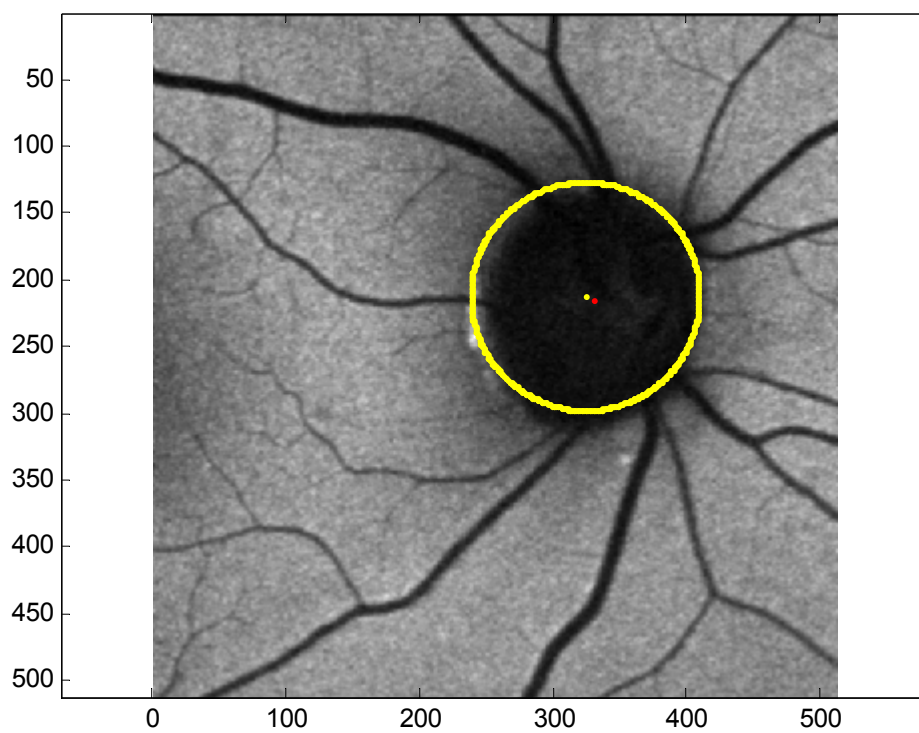
Tento postup se aplikuje pro všechny zadané poloměry kružnice. Výsledkem je skupina akumulátorů (jejich počet odpovídá počtu zvolených poloměrů) ve kterých dále hledáme maxima, která nám udávají polohu středu optického disku. Poloměr pak zvolíme takový, který odpovídá akumulátoru s nejvyšším maximem. Pokud je takovýchto akumulátorů více, poloměr vypočítáme jako průměr příslušných poloměrů.

Nyní známe souřadnice středu optického disku a poloměr kružnice, který ho bude aproximovat. Tyto parametry vykreslíme do původního obrazu a vyhodnotíme přesnost celého algoritmu.

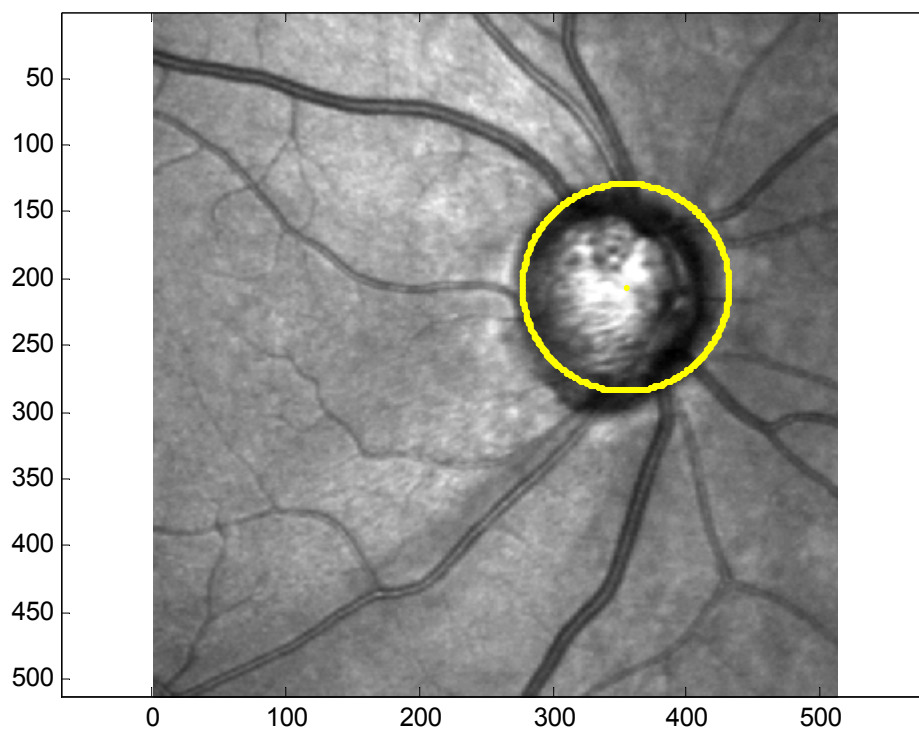
5.5. Dosažené výsledky

Výsledkem celého algoritmu je určený střed optického disku v zadaných obrazech a aproximace jeho hranic kružnicí. Střed i danou kružnici zobrazíme v původním obraze, abychom mohli vyhodnotit dosažené výsledky.

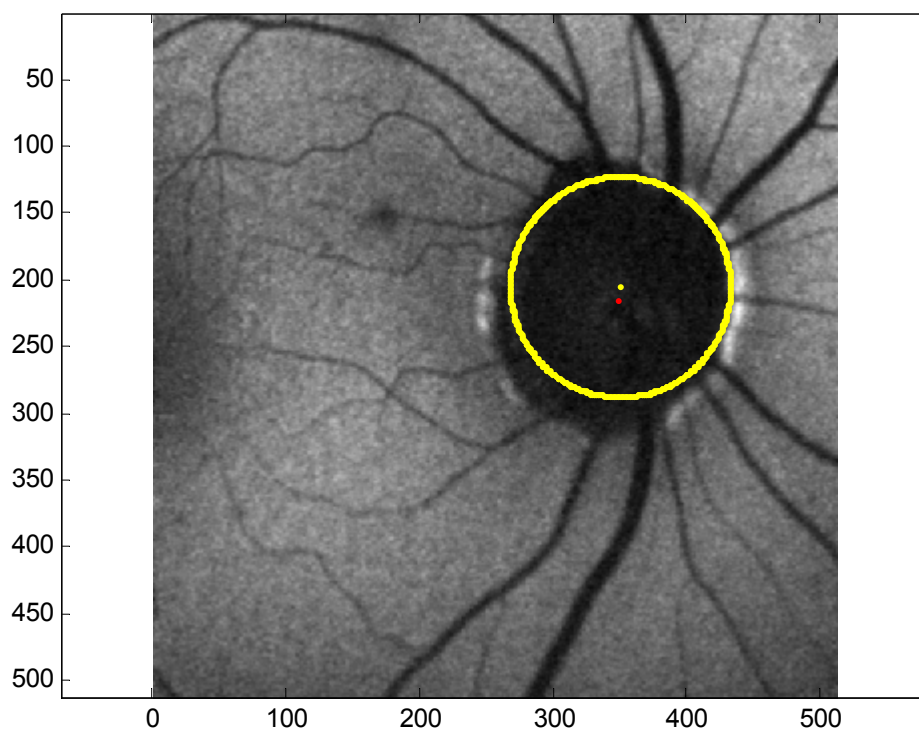
Na následujících obrázcích jsou dosažené výsledky v porovnání s hodnotami středů určených lékařem. Žlutě je vyznačen střed a hranice optického disku získané výše uvedeným algoritmem, červená modrá značka potom označuje střed určený lékařem. Toto porovnání je ovšem pouze u AF obrazů, neboť pro IR obrazy jsme neměli k dispozici souřadnice středů určené lékařem.



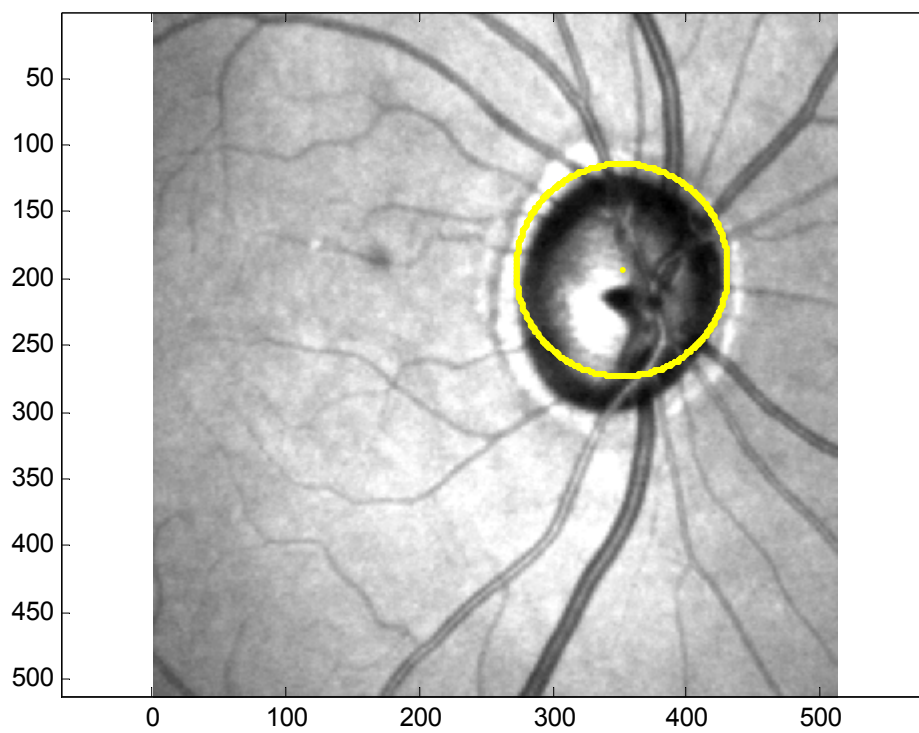
Obr. 29: Obrázek AF č. 1 – výsledek Houghovy transformace



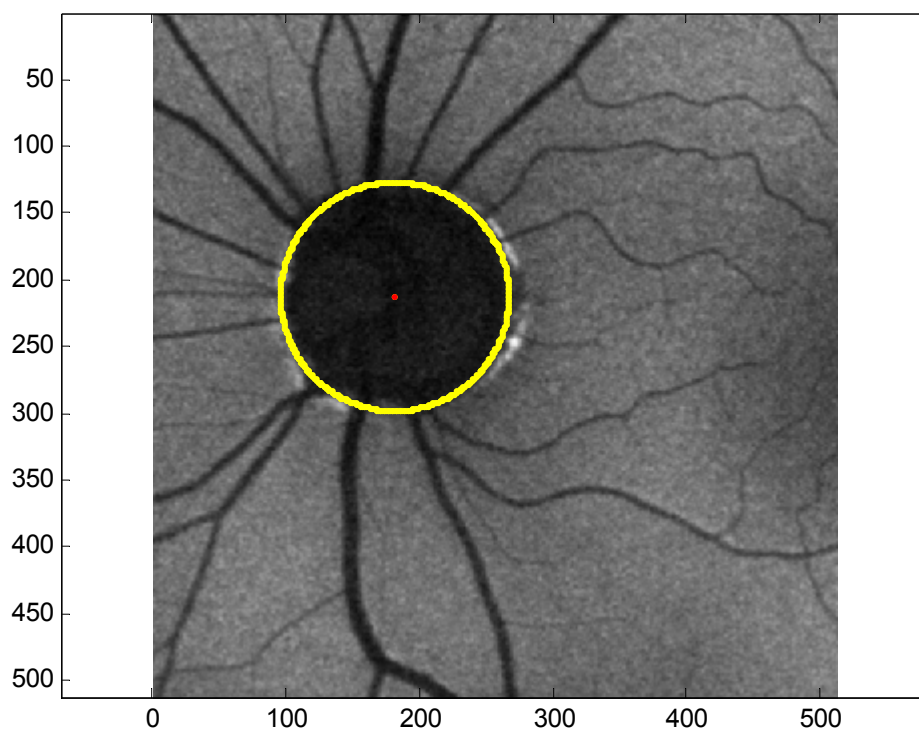
Obr. 30: Obrázek IR č. 1 – výsledek Houghovy transformace



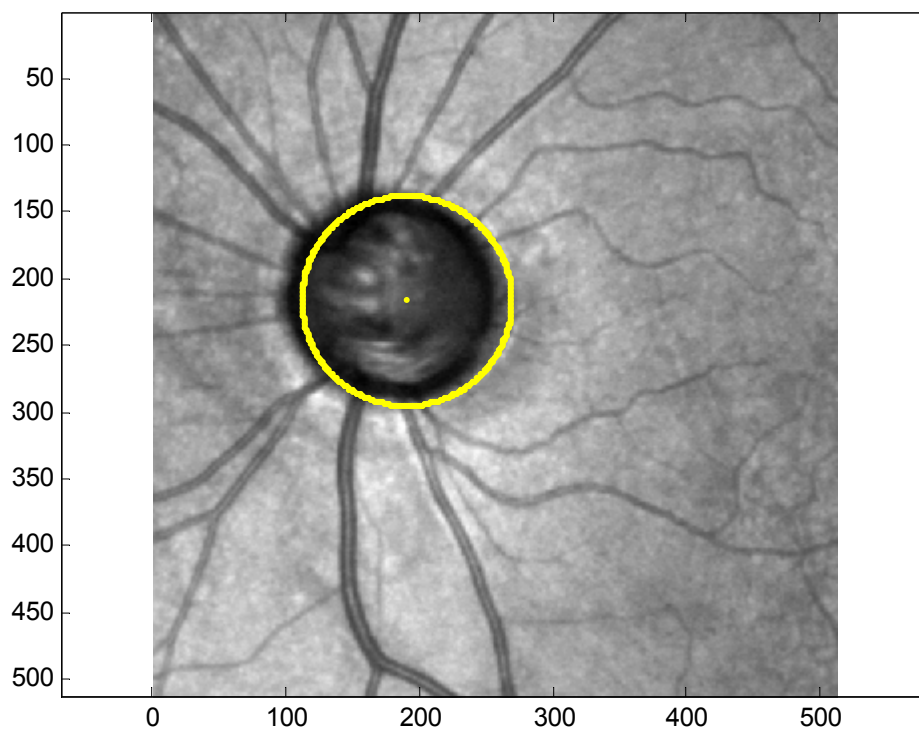
Obr. 31: Obrázek AF č. 2 – výsledek Houghovy transformace



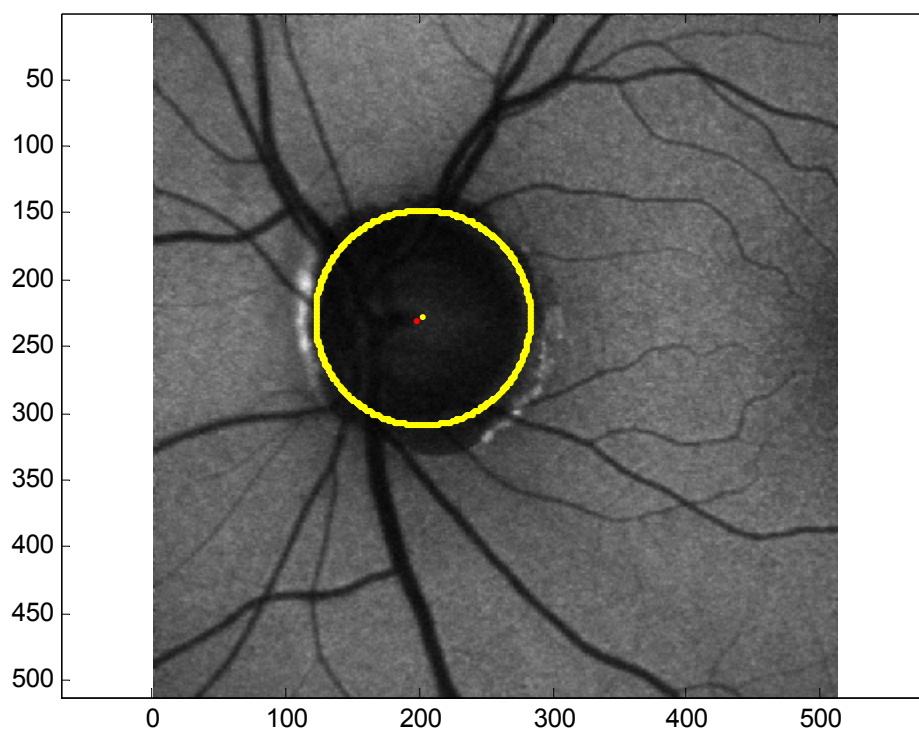
Obr. 32: Obrázek IR č. 2 – výsledek Houghovy transformace



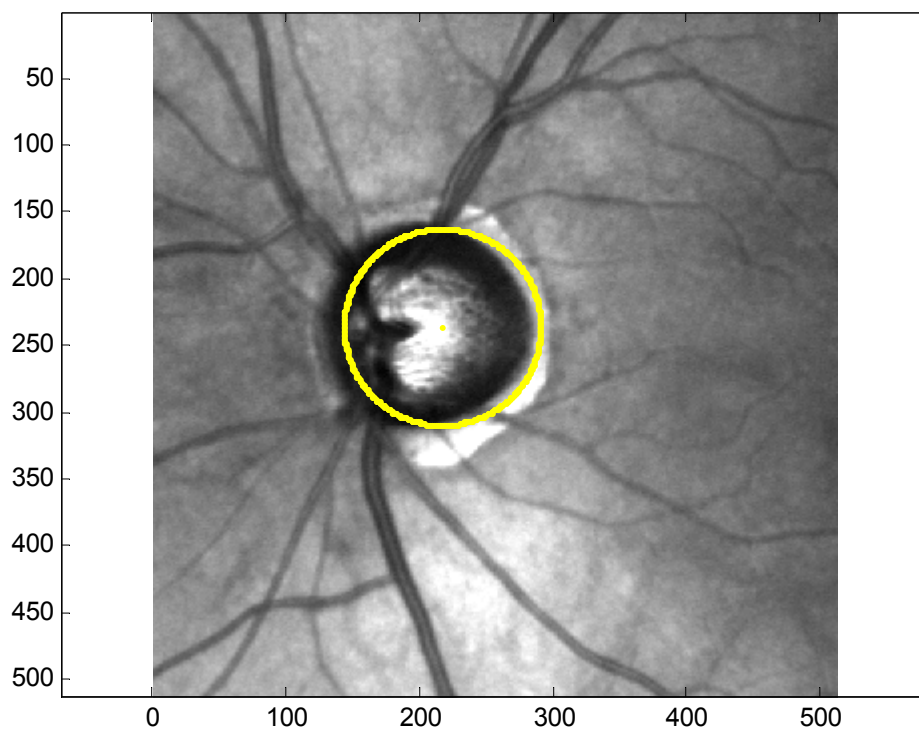
Obr. 33: Obrázek AF č. 3 – výsledek Houghovy transformace



Obr. 34: Obrázek IR č. 3 – výsledek Houghovy transformace



Obr. 35: Obrázek AF č. 4 – výsledek Houghovy transformace



Obr. 36: Obrázek IR č. 4 – výsledek Houghovy transformace

Pro porovnání jsme vybrali jako ukázkou výsledků vytvořeného algoritmu první čtyři obrázky jak ze skupiny AF tak i IR obrazů. Určený střed i hranice optického disku se u AF obrazů mírně liší od IR obrazů. Je to dáno tím, že oba typy obrazů mají odlišné vlastnosti a proto nejsou výsledky algoritmu u obou typů stejné. V následujících kapitolách se budeme zabývat účinností zpracovaného algoritmu.

5.5.1. Účinnost algoritmu

Určit účinnost algoritmu přesnými čísly je téměř nemožné, neboť nemáme k dispozici zcela přesné souřadnice středů optického disku. Pokud budou nezávisle na sobě určovat střed disku dva a více lékařů, vždy se jejich výsledky budou lišit, a proto je určení účinnosti pouze orientační. V našem případě budeme vycházet z toho, že středy určené lékařem, které máme k dispozici, jsou přesnými středy. V tabulce Tab. 5.1. jsou uvedeny vypočtené odchylky nalezených souřadnic středů od zadaných („přesných“) pro AF obrázky.

Č. obrázku		1	2	3	4	5	6	7	8
Změřené souřadnice	x_1 [pixel]	331	349	181	197	166	373	312	317
	y_1 [pixel]	216	216	213	231	213	200	196	209
Zadané souřadnice	x_2 [pixel]	324	350	181	202	165	363	307	327
	y_2 [pixel]	212	205	212	228	195	191	184	198
Vzdálenost [pixel]		8	11	1	6	18	13	13	15
Směr (úhel) [°]		30	95	90	149	87	42	67	132

Č. obrázku		9	10	11	12	13	14	15	16
Změřené souřadnice	x_1 [pixel]	221	197	349	161	331	395	310	295
	y_1 [pixel]	226	174	207	170	178	262	170	190
Zadané souřadnice	x_2 [pixel]	233	196	367	149	336	383	294	306
	y_2 [pixel]	235	180	203	171	175	262	173	182
Vzdálenost [pixel]		15	6	18	12	6	12	16	14
Směr (úhel) [°]		217	279	167	355	149	0	349	144

Tab. 5.1. Výpočty odchylek středů optického disku u AF obrazů

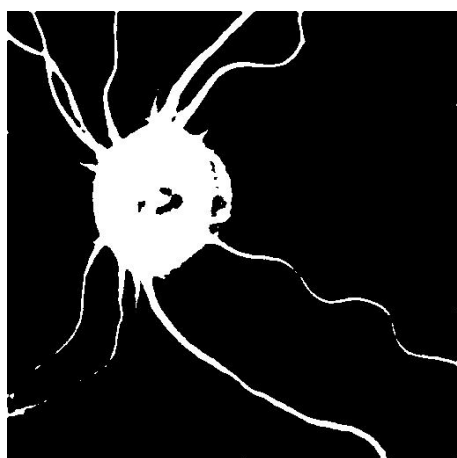
Zadané souřadnice středu považujeme za počáteční bod. Určíme odchylky na ose x a y jako rozdíly $x_1 - x_2$ a $y_1 - y_2$. Tím dostaneme velikosti dvou stran pravoúhlého trojúhelníku a podle pythagorovi věty třetí stranu, jejíž velikost nám udává vzdálenost zadaného a námi určeného středu. Směr kterým je námi nalezený střed posunutý je udán jako úhel vypočtený pomocí goniometrických funkcí.

Budeme-li vycházet z předpokladu, že odchylka středu o velikosti 15 pixelů je horní přijatelnou hranicí, můžeme říci že ze zadaných obrazů je algoritmus účinný přibližně z 81% u AF obrazů.

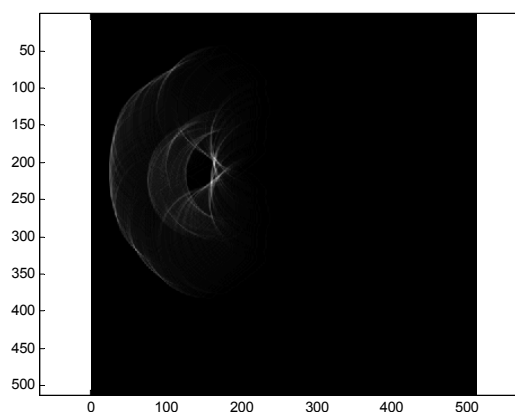
Přesnost určení hranic optického disku už není možné určit. Kružnice která tuto hranici pouze aproximuje, není zdaleka přesnou hranicí. Tu bychom našli až po aplikaci dalšího algoritmu, který danou kružnici přizpůsobí například výsledku hranového detektoru apod.

5.5.2. Nedostatky, jejich příčiny a možná řešení

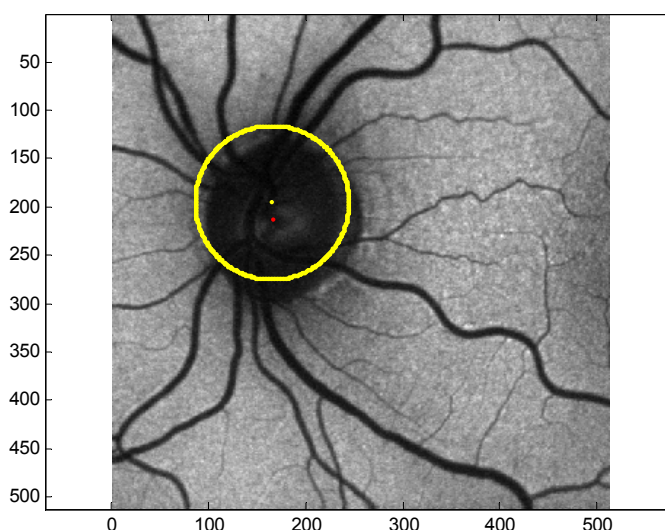
Jak již bylo řečeno, tento algoritmus není přesný pro všechny zadané obrazy a bylo by velmi složité, zdlouhavé a zda-li vůbec možné najít takové úpravy které by stoprocentní účinnost zajistily. Na obrázku 37 a 38 jsou ukázky AF i IR obrazů pro které tento algoritmus není zcela vhodný.



a) Vytvořený černobílý obraz



b) Akumulátor

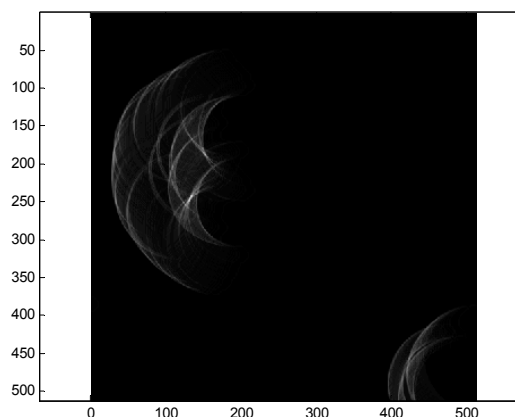


c) Výsledek

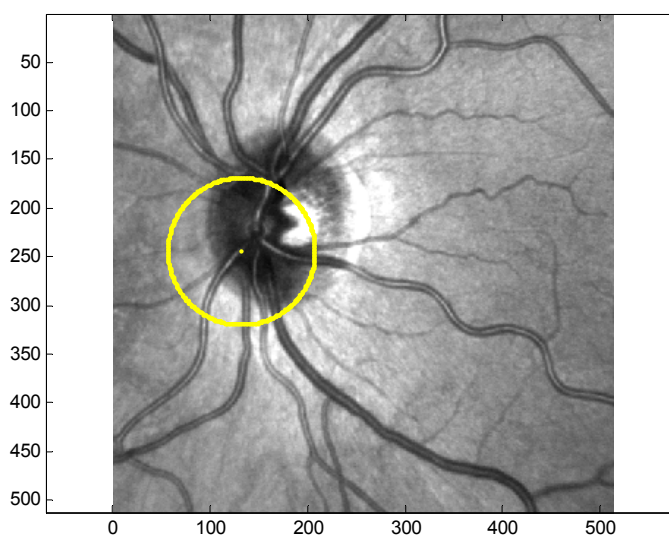
Obr. 37: Chyba při aplikaci na AF obraz (obrázek č.5.)



a) Vytvořený černobílý obraz



b) Akumulátor



c) Výsledek

Obr. 38: Chyba při aplikaci na IR obraz (obrázek č.5.)

Nejdůležitějším krokem kde můžeme co nejvíce eliminovat tyto chyby je samotné předzpracování a dále vytvoření černobílého obrazu. V dalších krocích již změnou nastavení parametrů algoritmu nijak výrazněji výsledky neovlivníme.

U AF obrazů jsou vzniklé chyby menší a pro jejich eliminaci postačí mnohem menší změny v nastavení než u IR obrazů, kde je především problém s příliš světlými místy uprostřed optického disku. Jak je vidět na obrázku výše, v tomto případě při vytváření binárního obrazu zcela zanikne pravá část optického disku, která je na původním obraze příliš světlá, a při následná Houghova transformace stanoví střed se značnou chybou.

Všechny tyto nedostatky by se dali odstranit změnou nastavení algoritmu pro každý obraz individuálně.

Závěr

V poslední kapitole jsou shromážděny celkové výsledky a vyhodnocena účinnost algoritmu. Jak již bylo ale řečeno, získané výsledky jsou porovnávány pouze s hodnotami které stanovil lékař. V případě že by jsme porovnávali naše hodnoty s hodnotami od více lékařů, mohli bychom v některých případech dospět k lepším, v jiných zase k horším výsledkům. Chyba která je zde vypočítána a udána vzdáleností a úhlem je tedy relativní.

Při samotné detekci středu optického disku jsem zkoušeli i jiné postupy, ale jejich výsledky nebyly vyhovující. Bylo by je možné aplikovat pouze na velmi zúžený počet obrazů, což nemá hlubší význam. Proto jsme se jimi dále v práci nezabývali a uvedli pouze tento algoritmus.

Kružnice kterými aproximujeme hranice optického disku budou dále sloužit k přesnému určení těchto hranic. K tomu bude zapotřebí dalšího algoritmu, který tuto hranici určí téměř přesně.

Literatura

- [1] Bělehrad, M.: *Detekce autofluorescenční zóny v oftalmologických obrazech*. Diplomová práce, Brno 2006
- [2] Hlaváč, V., Sedláček, M.: *Zpracování signálů a obrazů*. ČVUT, 2001
- [3] <http://www.zeleny-zakal.cz/jak-vidime>
- [4] <http://lubikworld.blog.cz/0609/lasery-v-ocnim-lekarstvi>